
Análisis cualitativo y cuantitativo del impacto de los pulsos binaurales en el estado de ánimo, concentración y calidad del sueño de las personas

Margareth Marylú Vela García



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Análisis cualitativo y cuantitativo del impacto de los pulsos
binaurales en el estado de ánimo, concentración y calidad del
sueño de las personas**

Trabajo de graduación presentado por Margareth Marylú Vela García
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2024

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



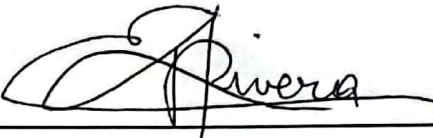
**Análisis cualitativo y cuantitativo del impacto de los pulsos
binaurales en el estado de ánimo, concentración y calidad del
sueño de las personas**

Trabajo de graduación presentado por Margareth Marylú Vela García
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,


2024

Vo.Bo.:


(f) 

Dr. Luis Alberto Rivera Estrada

Tribunal Examinador:

(f) 

Dr. Luis Alberto Rivera Estrada

(f) 

M. Sc. Andrés Monterroso

(f) 

M.Sc. Carlos Esquit

Fecha de aprobación: Guatemala, 20 de enero de 2024

A lo largo de mi vida, siempre he sido muy curiosa, lo cual me ha llevado a tener un interés especial por la investigación. Este trabajo me brindó la oportunidad de llevar a cabo todo el proceso de investigación, desde la observación y experimentación hasta el análisis de todos los resultados obtenidos a lo largo de estos meses. En este proyecto de exploración para determinar el impacto de los pulsos binaurales, logré aplicar diversas técnicas y conocimientos adquiridos durante mis cinco años de vida universitaria. Sin embargo, todo esto no hubiera sido posible sin todas las personas que me han ayudado a llegar hasta este punto.

Primero que todo, quiero agradecer a Dios por darme la oportunidad de llegar hasta este momento de mi formación, por haberme acompañado y guiado a lo largo de todos estos años. También quiero agradecer a mis padres, Abraham Vela y Lesbia Garcia, por haberme alentado y apoyado a perseguir mis sueños, brindándome todas las herramientas para poder concluir mis estudios. A mis hermanas, Tania y Waleska Vela, les agradezco por mostrarme, a través de su ejemplo, el camino y por su total ayuda tanto en el área académica como personal.

Expreso un sincero agradecimiento a mis amigos que me han ayudado y acompañado durante este largo y retador camino. También agradezco profundamente a todas las personas que me apoyaron en este estudio de investigación, por su tiempo, paciencia y comprensión para llevar a cabo las diversas pruebas. Finalmente, agradezco a mis catedráticos y mentores que me han transmitido su conocimiento en diversas áreas y, por ello, hoy pude culminar esta etapa. En especial, al Dr. Luis Alberto Rivera por su dedicación y paciencia. Gracias por su constante guía y consejos que me sirvieron tanto para este trabajo, así como, estoy segura, aplicaré en mi futuro profesional.

Prefacio	III
Lista de figuras	IX
Lista de cuadros	X
Resumen	XI
Abstract	XII
1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
3. Justificación	6
4. Objetivos	7
4.1. Objetivo general	7
4.2. Objetivos específicos	7
5. Alcance	8
6. Marco teórico	10
6.1. Descripción de las ondas cerebrales	10
6.1.1. Señales electroencefalográficas	11
6.2. Obtención de ondas cerebrales	13
6.2.1. Electroodos	13
6.2.2. Equipo de medición BIOPAC	13
6.2.3. Equipo de medición Electro-Cap	13
6.2.4. OpenBCI - <i>Cyton Board</i>	15
6.3. Pulsos binaurales	16
6.3.1. Ruido rosa	16
6.3.2. Efectos en el estado de ánimo	17
6.3.3. Efectos en la concentración	18

6.3.4. Efectos en la calidad del sueño	18
6.4. Pruebas estadísticas	19
6.4.1. Prueba t de Student	20
6.4.2. Análisis de sentimientos	20
6.4.3. Prueba de Wilcoxon	20
6.5. Formatos digitales de sonido	21
7. Módulo generador de pulsos binaurales	22
7.1. Cambios en el generador de fases anteriores	22
7.2. Módulo generador actual	24
7.2.1. Pulsos binaurales para el estudio de concentración y estado de ánimo	25
7.2.2. Pulsos binaurales para el estudio del sueño	27
8. Procedimientos y directrices para el uso de los dispositivos de adquisición de datos	30
8.1. Procedimiento para el estudio de concentración y estado de ánimo	30
8.2. Determinación del método de captura de datos para el estudio del sueño	32
8.2.1. Parámetros específicos del equipo	34
9. Diseño de metodología: documentos protocolarios y pruebas experimentales	38
9.1. Cambios y similitudes en documentos protocolarios realizados en las fase anterior	38
9.2. Consentimiento informado para el estudio	39
9.3. Pruebas experimentales	40
9.3.1. Pruebas para el estudio de concentración	40
9.3.2. Pruebas para el estudio de estado de ánimo	42
9.3.3. Prueba para el estudio del sueño	43
9.4. Trabajo colaborativo	44
10. Análisis cualitativo del impacto de los pulsos binaurales	45
10.1. Métodos de validación para el análisis cualitativo	45
10.2. Resultados de las pruebas usando pulsos binaurales sin ruido rosa	47
10.2.1. Resultados del impacto en el nivel de concentración y estado de ánimo	47
10.2.2. Resultados del impacto en la calidad del sueño	53
10.3. Resultados de las pruebas usando pulsos binaurales con ruido rosa	59
10.3.1. Resultados del impacto en el nivel de concentración y estado de ánimo	60
10.4. Discusión de resultados	64
11. Análisis cuantitativo del impacto de los pulsos binaurales	66
11.1. Métodos de validación para el análisis cuantitativo	67
11.2. Resultados de las pruebas usando pulsos binaurales sin ruido rosa	70
11.2.1. Resultados del impacto en el nivel de concentración	70
11.2.2. Resultados del impacto en el nivel de estado de ánimo	72
11.2.3. Resultados del impacto en la calidad del sueño	73
11.3. Resultados de las pruebas usando pulsos binaurales con ruido rosa	74
11.3.1. Resultados del impacto en el nivel de concentración	74
11.3.2. Resultados del impacto en el nivel de estado de ánimo	75
11.4. Discusión de resultados	78

12. Conclusiones	80
13. Recomendaciones	81
14. Bibliografía	82
15. Anexos	86
15.1. Protocolo de investigación	86
15.2. Consentimiento informado	89
16. Glosario	96

Lista de figuras

1.	Diagrama de funcionamiento del pulso binaural [1].	3
2.	Propuesta de sistema automático usando pulsos binaurales [6].	4
3.	Interfaz gráfica de generador de pulsos binaurales [8].	4
4.	Proceso de creación de pulso binaural [9].	5
5.	Clasificación de las ondas cerebrales según sus rangos de frecuencia [14].	11
6.	Ritmos electroencefalográficos observados durante varios estados: (a) despierto, (b) relajado, (c) somnoliento, (d) dormido, y (e) profundamente dormido [12].	12
7.	Electrodos desechables pregelificados [15].	13
8.	Interfaz del <i>Biopac Student Lab</i> para el estudio de EEG [16].	14
9.	Electro-Cap [17].	14
10.	Sistema de posicionamiento de electrodos 10-20 [17].	15
11.	<i>Cyton Board y USB Dongle</i> [18].	15
12.	Descripción del funcionamiento de los pulsos binaurales [16].	16
13.	Pulso binaural modulado con pista moduladora [9].	23
14.	Transformada Rápida de Fourier (FFT) del pulso binaural modulado con pista [9].	23
15.	Flujo del generador de pulsos binaurales [9].	24
16.	Flujo del módulo generador de pulsos binaurales actual.	26
17.	Flujo del reproductor de pulsos binaurales actual.	27
18.	Flujo del generador de pulsos binaurales para el estudio del sueño.	29
19.	Biopac modelo MP41, <i>Home Edition</i> [16].	31
20.	Representación esquemática del <i>hardware y software</i> usado para la recolección de datos del estudio de concentración y estado de ánimo.	31
21.	Colocación de electrodos para el estudio de concentración y estado de ánimo [16].	32
22.	Ventana de análisis de datos en <i>Biopac Student Lab</i>	32
23.	Representación esquemática del <i>hardware y software</i> usado para la recolección de datos del estudio del sueño.	34

24. Sistema de posicionamiento de electrodos 10-20 con áreas y pines identificados	35
36.	35
25. Conexión del Electro-Cap con la <i>Cyton Board</i> .	36
26. Pestaña <i>Cyton Signal</i> 35.	36
27. Pestaña <i>Time Series</i> 35.	37
28. Pestaña <i>Head Plot</i> 35.	41
29. Ejemplo de pruebas aritméticas mentales 37.	42
30. Ejemplo de prueba de Toulouse-Pieron 38.	46
31. Primera sección del estudio de estado de ánimo.	48
32. Género de los sujetos del estudio de concentración y estado de ánimo con pulsos binaurales sin ruido rosa.	48
33. Edad de los sujetos del estudio de concentración y estado de ánimo con pulsos binaurales sin ruido rosa.	49
34. Impacto en el nivel de relajación antes y después de utilizar pulsos binaurales sin ruido rosa.	49
35. Impacto en el nivel de estrés antes y después de utilizar pulsos binaurales sin ruido rosa.	50
36. Variabilidad en el nivel de relajación antes y después de utilizar pulsos binaurales sin ruido rosa.	50
37. Variabilidad en el nivel de estrés antes y después de utilizar pulsos binaurales sin ruido rosa.	51
38. Percepción general de los pulsos binaurales sin ruido rosa.	52
39. Preferencia en la intensidad del pulso binaural sin ruido rosa.	52
40. Impacto general en el nivel de concentración con pulsos binaurales sin ruido rosa.	53
41. Impacto general en el estado de ánimo con pulsos binaurales sin ruido rosa.	53
42. Género de los sujetos del estudio del sueño.	54
43. Edad de los sujetos del estudio del sueño.	54
44. Cantidad de horas de sueño regulares en sujetos de prueba.	55
45. Frecuencia en mantener generalmente un ambiente silencioso, oscuro y relajante al dormir.	55
46. Frecuencia en el uso de dispositivos electrónicos al menos una hora antes de dormir.	56
47. Frecuencia en el consumo de comidas abundantes, cafeína y/o alcohol antes de dormir.	56
48. Percepción general de los pulsos binaurales en el estudio del sueño.	57
49. Preferencia en la intensidad del pulso en el estudio del sueño.	57
50. Impacto del uso de pulsos binaurales en el estado de relajación de los sujetos de prueba.	58
51. Impacto del uso de pulsos binaurales en el tiempo de conciliación del sueño.	58
52. Impacto del uso de pulsos binaurales en la calidad del sueño.	59
53. Impacto del uso de pulsos binaurales en el sueño.	60
54. Género de los sujetos del estudio de concentración y estado de ánimo con pulsos binaurales con ruido rosa.	60
55. Edad de los sujetos del estudio de concentración y estado de ánimo con pulsos binaurales con ruido rosa.	60

56. Impacto en el nivel de relajación antes y después de utilizar pulsos binaurales con ruido rosa.	61
57. Impacto en el nivel de estrés antes y después de utilizar pulsos binaurales con ruido rosa.	61
58. Impacto en el nivel de enojo antes y después de utilizar pulsos binaurales con ruido rosa.	62
59. Variabilidad en el nivel de relajación antes y después de utilizar pulsos binaurales con ruido rosa.	62
60. Variabilidad en el nivel de estrés antes y después de utilizar pulsos binaurales con ruido rosa.	63
61. Percepción general de los pulsos binaurales con ruido rosa.	63
62. Impacto general en el estado de ánimo con pulsos binaurales con ruido rosa.	64
63. Gráfica de probabilidad normal con la diferencia de los datos en las pruebas aritméticas usando pulsos binaurales sin ruido rosa.	68
64. Gráfica de probabilidad normal con la diferencia de los datos en las pruebas aritméticas usando pulsos binaurales con ruido rosa.	68
65. Gráfica de probabilidad normal con la diferencia de la velocidad de procesamiento en la prueba de Toulouse-Pieron usando pulsos binaurales sin ruido rosa.	69
66. Gráfica de análisis de polaridad en el nivel de concentración: sin pulsos binaurales (izquierda) y con pulsos binaurales sin ruido rosa (derecha).	72
67. Gráfica de análisis de polaridad en el nivel de estado de ánimo: sin pulsos binaurales (izquierda) y con pulsos binaurales sin ruido rosa (derecha).	73
68. Gráfica de análisis de polaridad en la calidad del sueño: sin pulsos binaurales (izquierda) y con pulsos binaurales sin ruido rosa (derecha).	73
69. Gráfica de análisis de polaridad en el nivel de concentración: sin pulsos binaurales (izquierda) y con pulsos binaurales con ruido rosa (derecha).	75
70. Gráfica de análisis de polaridad en el nivel de estado de ánimo: sin pulsos binaurales (izquierda) y con pulsos binaurales con ruido rosa (derecha).	76
71. Gráfica de análisis de polaridad en el nivel de alegría: sin pulsos binaurales (izquierda) y con pulsos binaurales con ruido rosa (derecha).	77
72. Gráfica de análisis de polaridad en el nivel de tristeza: sin pulsos binaurales (izquierda) y con pulsos binaurales con ruido rosa (derecha).	77
73. Gráfica de análisis de polaridad en el nivel de frustración: sin pulsos binaurales (izquierda) y con pulsos binaurales con ruido rosa (derecha).	78

Lista de cuadros

1.	Frecuencias para cada etapa del sueño en Hertz.	28
2.	Tiempo para cada ciclo según etapas del sueño en minutos.	28
3.	Pines por defecto del Electro-Cap según configuración de la <i>Cyton Board</i> [35].	33
4.	Pines de la placa para interconexión entre el Electro-Cap y la <i>Cyton Board</i> .	34
5.	Valores generales de la prueba de Toulouse-Pieron [38].	42
6.	Recopilación de videos y lecturas usados para el estudio de estado de ánimo.	43
7.	Cantidad de pruebas realizadas de cada estudio usando pulsos binaurales sin ruido rosa.	47
8.	Emociones que predominaron antes, durante o en ambas ocasiones de la prueba con pulsos binaurales.	51
9.	Cantidad de pruebas realizadas de cada estudio usando pulsos binaurales con ruido rosa.	59
10.	Valores estadísticos usando la prueba t de Student.	71
11.	Valores estadísticos de las pruebas aritméticas usando pulsos binaurales con ruido rosa.	75

Este trabajo de investigación se centró en llevar a cabo un análisis estadístico para discernir el impacto de los pulsos binaurales en el estado de ánimo, concentración y calidad del sueño de las personas. Se modificó el módulo generador de pulsos binaurales desarrollado en años anteriores, adaptándolo a las especificaciones de cada estudio, lo cual fue esencial para la ejecución de los experimentos. Asimismo, se ajustó e implementó un protocolo de investigación y consentimiento informado específico para cada estudio.

El análisis cualitativo se apoyó en cuestionarios completados por los sujetos antes y después de las pruebas experimentales, tanto con la presencia como en la ausencia de pulsos binaurales. Entre los resultados más destacados, se observó un impacto significativo en los niveles de concentración y estado de ánimo de los participantes tras la aplicación de pulsos binaurales tanto sin como con ruido rosa. Paralelamente, el análisis cuantitativo consistió en la recopilación de resultados de pruebas de concentración y comentarios proporcionados por los sujetos.

Los resultados clave revelaron que la aplicación de pulsos binaurales no generó un impacto estadísticamente significativo en los niveles de concentración, mientras que produjo un impacto moderado en el estado de ánimo de los participantes al aplicar pulsos binaurales sin ruido rosa. No obstante, al aplicar pulsos con ruido rosa produjo un impacto considerable en el estado de ánimo. En relación al análisis del sueño, la limitada recolección de datos obstaculizó la ejecución de un análisis estadístico más robusto. Sin embargo, se pudo identificar una tendencia positiva en la mejora de la calidad del sueño, la cual fue percibida de manera significativa por el sujeto en términos cualitativos y validada cuantitativamente.

This research focused on conducting a statistical analysis to discern the impact of binaural beats on the mood, concentration, and sleep quality of individuals. The binaural beats generator module developed in previous years was modified, adapting it to the specifications of each study, which was crucial for execution of the experiments. Additionally, a specific research protocol and informed consent were adjusted and implemented for each study.

Qualitative analysis relied on questionnaires completed by subjects before and after experimental trials, both in the presence and absence of binaural beats. Among the noteworthy results, a significant impact on participants' concentration and mood levels was observed after the application of binaural beats. Simultaneously, quantitative analysis involved collecting concentration test results and feedback provided by the subjects.

Key findings revealed that the application of binaural beats did not generate a statistically significant impact on concentration levels, while it moderately impacted participants' mood when applied without pink noise. However, applying binaural beats with pink noise resulted in a considerable impact on mood. Regarding sleep analysis, the limited data collection hindered the execution of a more robust statistical analysis. Nevertheless, a positive trend in sleep quality improvement was identified, significantly perceived qualitatively by the subjects and quantitatively validated.

La calidad del sueño es un factor determinante para la salud y bienestar general del individuo que incide de manera significativa en el desarrollo físico, regulación emocional y desempeño cognitivo. La carencia de un descanso adecuado conlleva a consecuencias que afectan el estado de ánimo y la cognición, propiciando condiciones como depresión, estrés y ansiedad, que impactan directamente la calidad de vida. En este contexto, este proyecto surge con la finalidad de explorar una alternativa no farmacéutica que pueda mejorar tanto la calidad del sueño como el estado de ánimo y la concentración de las personas.

La investigación abarca diversos experimentos destinados a medir el impacto de los pulsos binaurales en el estado de ánimo, la concentración y la calidad del sueño de los individuos. Este análisis se sustenta en un enfoque estadístico que evalúa de manera sistemática y objetiva los resultados obtenidos en estas áreas específicas. Para alcanzar este objetivo, se verificó el funcionamiento del módulo generador de pulsos binaurales desarrollado en la fase previa del proyecto y se adaptó al estudio con personas. Se llevaron a cabo ajustes en documentos protocolarios, como el protocolo de investigación y el consentimiento informado, para garantizar la ejecución ética y eficiente de los experimentos.

El estudio estadístico abordó un análisis cualitativo y cuantitativo, explorando la percepción del sujeto de prueba y los resultados de pruebas específicas diseñadas para medir la concentración y estimular cambios en el estado de ánimo. Para el estudio del sueño, se recopilaron datos durante varias noches, buscando obtener una retroalimentación completa sobre el cambio observado en la calidad del sueño.

En los siguientes capítulos se detalla minuciosamente los procedimientos y desarrollos que facilitaron la ejecución de los experimentos para cada estudio. En el capítulo [7](#) se presenta el nuevo módulo generador de pulsos binaurales diseñado tanto para el estudio del sueño como para el estudio de concentración y estado de ánimo, destacando los cambios y similitudes respecto a las fases anteriores. El capítulo [8](#) describe los procedimientos y directrices utilizados para la recolección de datos, detallando el equipo específico empleado para cada estudio. En el capítulo [9](#) se aborda el diseño metodológico, que incluye la descripción de los documentos protocolarios y la definición de las pruebas experimentales. Los

capítulos 10 y 11 presentan los resultados del análisis cualitativo y cuantitativo, respectivamente, proporcionando una visión integral del impacto de los pulsos binaurales en las áreas de estudio.

Los avances recientes en el campo de neurociencia e informática está allanando el camino para que la interfaz cerebro-computadora se convierta en un camino para restablecer y mejorar las capacidades cognitivas y físicas. El sueño es un componente esencial de la salud y bienestar del ser humano pues tiene impactos significativos en el desarrollo físico, la regulación emocional, el rendimiento cognitivo y la calidad de vida. Por ello es que se han buscado maneras de promover un sueño adecuado para mejorar tanto el rendimiento como la salud en general. En [1] se determinó que al utilizar ritmos binaurales generando tonos de frecuencias marginalmente diferentes en cada oído individual mejora la emoción, calma y el rendimiento del cerebro humano. También en [2] se presentó el estudio de los efectos de un latido binaural de 3 Hz logrando tener como principal hallazgo que se disminuyó la latencia en las etapas tempranas del sueño permitiendo la inducción temprana de las siguientes etapas logrando modular la actividad neuronal y permitiendo tener una mejora en la calidad del mismo.

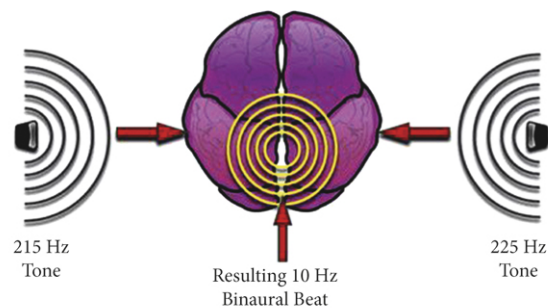


Figura 1: Diagrama de funcionamiento del pulso binaural [1].

En la Universidad del Valle de Guatemala se han realizado distintas investigaciones relacionado a las señales bioeléctricas que representan distintos estados neurológicos. En el 2018 se trabajaron dos proyectos, el primero en [3] buscaba mejorar el rendimiento de los atletas en base al análisis y desarrollo de un sistema de entrenamiento y el otro en [4]

buscaba utilizar neuro-retroalimentación (*Neurofeedback*) para mejorar el rendimiento en atletas. El estudio se basó en realizar sesiones observando la actividad del cerebro de una persona y brindar retroalimentación positiva o negativa dependiendo de la reacción con el fin de controlar mejor ciertos procesos cerebrales que ayuden a la persona a mejorar sus estímulos en escenarios donde necesite mayor concentración o reducir el estrés.

En 2019 se continuó el estudio de una manera más general observando las etapas del sueño y cómo estas se ven afectadas por distintos estímulos, al igual que la clasificación de las etapas por medio de Aprendizaje Automático (*Machine Learning*). En [5] se enfocó principalmente en realizar un análisis exploratorio de cómo combatir los problemas de sueño en atletas usando técnicas de neuro-retroalimentación con pulsos binaurales buscando las frecuencias de operación de ciertas ondas cerebrales asociadas al sueño. En esta etapa se diseñaron algoritmos de clasificación de aprendizaje automático y un dispositivo que pueda emitir los pulsos que fueron probados mediante la computadora. Este trabajo dio como resultado el artículo [6] en el que se propone un sistema automático para mejorar la calidad del sueño usando pulsos binaurales haciendo experimentos con clasificadores y características simples para determinar una estrategia de clasificación con una carga computacional moderada.

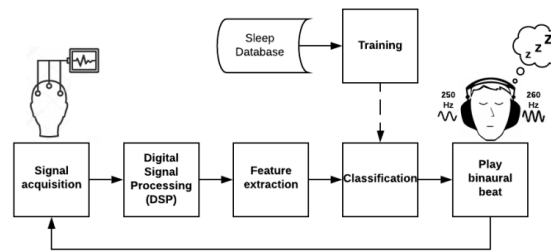


Figura 2: Propuesta de sistema automático usando pulsos binaurales [6].

Se continuó el estudio en el año 2020 en el cual dos estudiantes se enfocaron en la parte de *software* y en la parte de *hardware*. La primera parte en [7] se encargó de realizar el análisis de las señales encefalográficas mediante un dispositivo clasificador entrenado con algoritmos de aprendizaje automático a través de un proceso intra-sujeto. La segunda parte en [8] se encargó de la generación de los pulsos binaurales que son dirigidos hacia el paciente de prueba usando una *Raspberry Pi*. Sin embargo, presentó ciertos problemas como no poseer una buena interconexión inalámbrica con audífonos, limitando la utilización de audífonos alámbricos disminuyendo la comodidad del individuo y permitiendo posibles pérdidas de conexión física durante la etapa del sueño.



Figura 3: Interfaz gráfica de generador de pulsos binaurales [8].

Para el año 2021 otro estudiante se integró a la investigación logrando desarrollar un conjunto de herramientas para la descarga, procesamiento, extracción de características y visualización de datos electroencefalográficos. En [9] se puede notar que se renovó el sistema generador de pulsos binaurales para la reproducción desde la computadora con audífonos inalámbricos y una pista moduladora para mayor estímulo del sueño y comodidad para el paciente. Esto se logró mediante una función generadora de pulsos binaurales usando un proceso de modulación y *crossfading* implementada en el lenguaje de programación Python utilizando una computadora portátil. También se comenzó el proceso de validación con el comité de ética de la Universidad del Valle de Guatemala para establecer un protocolo de investigación y un consentimiento informado para la ejecución de experimentos con pacientes.

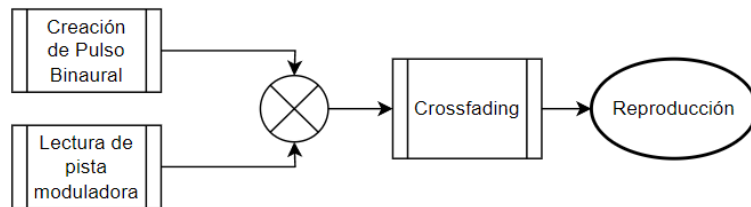


Figura 4: Proceso de creación de pulso binaural [9].

A pesar de las notables mejoras realizadas en este último estudio, todavía no se realiza un análisis estadístico para validar la eficacia de los pulsos binaurales en el sueño según lo percibido por los pacientes. Tampoco se ha podido realizar un estudio con mayor cantidad de muestras debido a las restricciones por la pandemia de COVID-19, lo cual brindaría mayor cantidad de características para el modelo actual del estudio.

El sueño juega un papel importante en la vida del ser humano ya que repara el cuerpo físico para mejorar y mantener la salud general, consolidar el aprendizaje y la memoria, y mantener el equilibrio emocional y bienestar general según [10]. La calidad del sueño es muy importante, sin embargo, en [11] mencionan que el 28 % de los estadounidenses informan que no duermen lo suficiente la mayoría de las noches y solamente el 31 % duermen lo suficiente de manera consistente. La falta de sueño está asociada con importantes problemas médicos, psicológicos, sociales y económicos. Estos pueden afectar el estado de ánimo y cognición de las personas provocando depresión, estrés, ansiedad, y tensión, lo que disminuye la calidad de vida de las personas. Por lo general, la primera opción para mejorar la calidad del sueño es el uso de productos farmacéuticos, sin embargo, estos a menudo presentan efectos secundarios y el uso prolongado podría convertirse en una preocupación.

El principal motivo para esta investigación es brindar una alternativa no farmacéutica que le permita a las personas mejorar no sólo la calidad del sueño sino también su estado de ánimo y concentración en el día a día por medio del uso de pulsos binaurales. Siguiendo esta misma línea de investigación se han tenido varios avances en el diseño y generación de los mismos. En [8] se realizó el prototipo del módulo generador de pulsos, sin embargo, no se logró determinar las frecuencias específicas para inducir las fases de sueño en el orden correcto. Por lo que, en [9] se renovó el sistema permitiendo la reproducción de los pulsos binaurales por medio de audífonos inalámbricos para mayor estímulo del sueño.

También se realizó un diseño preliminar para un estudio estadístico que mida el efecto de estos pulsos en las personas con el fin de determinar las mejores frecuencias que permiten inducir a la etapa del sueño. No obstante, debido a las restricciones por la pandemia del COVID-19 no se pudo llevar a cabo este estudio. Es por ello que el principal enfoque de este trabajo es realizar el estudio cuantitativo y cualitativo que evalúe el impacto en la calidad del sueño, estado de ánimo y concentración que presenta el uso de los pulsos binaurales en las personas y definir las frecuencias que ayudan a inducir las etapas del sueño, así como las etapas de concentración y relajación, esto mediante la recreación y mejora del sistema actual del módulo generador de pulsos.

4.1. Objetivo general

Realizar un análisis estadístico del impacto de los pulsos binaurales en el estado de ánimo, concentración y calidad del sueño de las personas.

4.2. Objetivos específicos

- Verificar el correcto funcionamiento del generador de pulsos binaurales desarrollado en la fase anterior del proyecto, y ajustarlo para su uso con sujetos de prueba.
- Revisar el protocolo de investigación para el estudio del impacto de pulsos binaurales en la calidad del sueño desarrollado en la fase anterior, y adaptarlo para el estudio del impacto en el estado de ánimo y la concentración de las personas.
- Implementar el protocolo con la mayor cantidad posible de sujetos de prueba.
- Realizar un análisis cualitativo del efecto de los pulsos binaurales a partir de las respuestas de los sujetos de prueba y las observaciones realizadas.
- Realizar un análisis cuantitativo del efecto de los pulsos binaurales a partir de señales bioeléctricas obtenidas de los sujetos de prueba.

En este proyecto se prosigue con la investigación destinada a evaluar el impacto de un generador de pulsos binaurales. Las etapas previas se centraron exclusivamente en la medición del impacto en la calidad del sueño de los individuos, estableciendo un protocolo de investigación, consentimiento informado y metodologías directas para obtener datos relacionados con dicho estudio. Además, se logró desarrollar un módulo generador de pulsos binaurales mezclados con una pista moduladora y parámetros ajustables según las preferencias del usuario. No obstante, la incapacidad de llevar a cabo un análisis estadístico se debió a las restricciones de movilidad y medidas de distanciamiento social impuestas por la pandemia de COVID-19, lo cual afectó directamente la ejecución y recopilación de datos en la escala inicialmente planificada.

Como respuesta a estas limitaciones, se expandió la investigación para abordar no solo el impacto en la calidad del sueño, sino también en el nivel de concentración y estado de ánimo de los participantes. Es crucial destacar que este trabajo no tiene como objetivo ofrecer soluciones a problemas relacionados con el sueño ni desarrollar tratamientos para la concentración o problemas de estado de ánimo. En cambio, busca medir cualitativa y cuantitativamente el efecto específico que la aplicación de pulsos binaurales tiene en estas áreas.

La ejecución de los experimentos requirió ajustes en el módulo generador de pulsos binaurales para adaptarse al estudio con individuos. Se implementaron dos rutinas distintas para exportar pulsos binaurales, cumpliendo con los requisitos específicos de cada estudio. Además, se modificó el protocolo de investigación y el consentimiento informado, incorporando el contenido necesario para el estudio de concentración y estado de ánimo. Se especificó que los participantes debían ser mayores de edad, no pertenecer a la tercera edad y no sufrir de enfermedades mentales, asegurando así la integridad de las señales EEG.

Con respecto al equipo utilizado, inicialmente se tenía previsto emplear exclusivamente el equipo Biopac modelos MP41 y MP36. Sin embargo, el *software Biopac Student Lab 4.1* presentó una limitación temporal de 30 minutos. A pesar de los esfuerzos por encontrar alternativas de *software*, la conexión con un tercero no fue posible. Como solución, se optó

por utilizar el equipo Electro-Cap junto con la *Cyton Board*, aunque este cambio afectó la recolección de datos del estudio del sueño al requerir pruebas de conexión prolongadas para garantizar la captura precisa de datos. Además, se tuvo la dificultad que el primer Electro-Cap brindado por la Universidad se encontró en malas condiciones, lo que afectó directamente los resultados capturados con ese equipo. A mitad del estudio, se logró obtener un segundo Electro-Cap que se encontraba en condiciones ideales para la recolección de datos. Estos cambios de equipo impidieron la realización de un análisis estadístico robusto para dicho estudio.

Finalmente, para el estudio de concentración y estado de ánimo, se emplearon pruebas estandarizadas para contar con métodos de validación adicionales y llevar a cabo un estudio más vigoroso. Se implementó el protocolo de investigación en una muestra más extensa utilizando exclusivamente el equipo Biopac, lo que proporcionó resultados cualitativos y cuantitativos indicativos del impacto generado por los pulsos binaurales mezclados con y sin ruido rosa. No obstante, también se vio afectado en la cantidad de muestras recolectadas debido a la coyuntura nacional, lo cual no permitió realizar pruebas durante algunas semanas.

6.1. Descripción de las ondas cerebrales

El cerebro humano controla diversas funciones como la actividad del corazón, movimiento, memoria, habla, entre otras. Este control se realiza a través de las neuronas que se comunican entre ellas a través de pequeños impulsos eléctricos. Estos impulsos son conocidos como ondas cerebrales [12]. Las ondas cerebrales son medidas por medio de electrodos en la superficie de la cabeza para luego ser digitalizadas y procesadas. Después de ello, se realiza la extracción de características necesarias para poder realizar la clasificación de las señales. La característica más importante para este estudio es la frecuencia.

En general, las ondas cerebrales presentan una amplitud de $100 \mu V$ y una frecuencia entre 0.5 a 30-40 Hz. Estas se encuentran clasificadas en cinco diferentes bandas de frecuencias, las cuales se encuentran descritas a continuación:

Onda delta, < 4 Hz. Estas señales son las de más baja frecuencia y representa un estado de sueño profundo. El sueño profundo es importante para el proceso de regeneración y sanación dentro del cuerpo humano. Si se presentan muy pocas ondas delta se presentan problemas para mantener una buena salud, incapacidad para revitalizar el cerebro y un sueño pobre. Por el contrario, si se presentan demasiadas ondas delta resulta perjudicial para el cerebro representando problemas de aprendizaje, incapacidad para pensar, o inclusive, trastorno de déficit de atención severo [13].

Onda theta, 4 - 7 Hz. Estas señales se encuentra también durante el estado de sueño, pero también predominan durante meditación profunda. Durante esta etapa ocurre lo que se conoce como sueños; imágenes vívidas e información más allá de la conciencia. Ayuda a mejorar la intuición, creatividad, relajación y conexión emocional. Si se encuentran muchas ondas theta puede resultar en depresión, hiperactividad, o impulsividad; por el contrario, puede resultar en ansiedad, estrés y problemas emocionales [13].

Onda alfa, 8 - 13 Hz. Estas señales predominan durante la meditación ligera en

un estado relajado y despierto pero con los ojos cerrados. Estas frecuencias se encuentran entre el pensamiento consciente y la mente subconsciente. Ayuda a mantener un estado de relajación y un flujo natural de pensamientos. Si se encuentran muchas ondas alfa puede resultar en incapacidad para concentrarse, por el contrario, puede representar ansiedad, alto estrés, insomnio, o inclusive, trastorno de desorden obsesivo compulsivo [13].

Onda beta, 14 - 30 Hz. Estas señales presentan una baja amplitud pero alta frecuencia, lo cual se asocia con la actividad del córtex y puede ser observada durante algunas etapas tempranas del sueño. Ayuda al enfoque consciente, la memoria y la resolución de problemas. Es observado principalmente en la parte central y frontal de las regiones del cerebro. Si se encuentran muchas ondas beta resulta en un nivel alto de estrés, ansiedad, o incapacidad para relajarse, por el contrario puede resultar en depresión, trastorno de déficit de atención o hiperactividad [13].

Onda gama, > 30 Hz. Estas señales se relacionan con el procesamiento de información activa en el córtex. Esta onda ha sido descubierta recientemente y se relaciona con el procesamiento simultáneo de la información de diferentes áreas del cerebro y con el funcionamiento cognitivo [12].

La cuantificación de las características de las ondas cerebrales ha demostrado ser extremadamente útil en el estudio funcional de estados del cerebro. Una representación de cada onda cerebral y sus diversas frecuencias y amplitudes se encuentra a continuación:

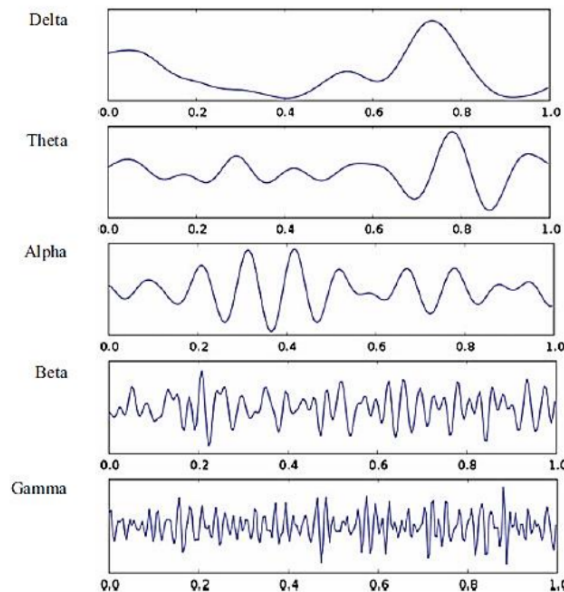


Figura 5: Clasificación de las ondas cerebrales según sus rangos de frecuencia [14].

6.1.1. Señales electroencefalográficas

Las señales electroencefalográficas son un método que se utiliza para medir la actividad eléctrica en el cerebro. El electroencefalograma (EEG) ha sido utilizado para determinar el tipo y lugar donde está ocurriendo la actividad cerebral [12]. En este estudio se enfoca

específicamente para poder determinar por medio de la amplitud y las frecuencias de la señal en qué estado mental se encuentra el individuo.

La amplitud de la señal EEG está relacionada con el grado de sincronía que interactúan las neuronas corticales. Si están sincronizadas produce un amplitud alta en la señal ya que estas se suman en el tiempo. La repetición de estas da como resultado una EEG rítmica en forma de onda de gran amplitud que ocurren en una cierta tasa de repetición. Por el contrario, si presentan un comportamiento asíncrono, el EEG presenta aspecto irregular con formas de onda de baja amplitud [12].

La frecuencia refleja el estado en el que se encuentra el cerebro en ese momento. Un ritmo de alta frecuencia y baja amplitud refleja un cerebro activo asociado con estado de alerta, mientras que un ritmo de baja frecuencia y gran amplitud se asocia con somnolencia y estado de sueño profundo. Esto se debe a que cuando la corteza está involucrada activamente en el procesamiento de información, el nivel de actividad de las neuronas es alto y desincronizado. Por otro lado, durante el sueño profundo, las neuronas corticales no participan en el procesamiento por lo que la sincronía es alta, y por consiguiente, la amplitud también [12].

La mayoría de frecuencias persisten durante varios minutos, mientras que otras solamente por unos segundos. Una representación de la forma de las señales electroencefalográficas en distintas etapas se encuentra en la siguiente figura:

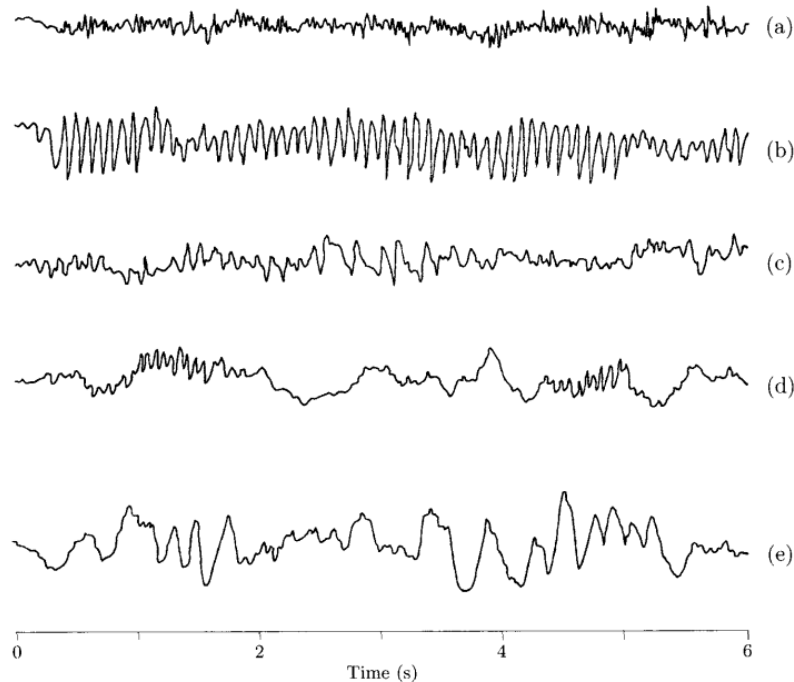


Figura 6: Ritmos electroencefalográficos observados durante varios estados: (a) despierto, (b) relajado, (c) somnoliento, (d) dormido, y (e) profundamente dormido [12].

6.2. Obtención de ondas cerebrales

6.2.1. Electrodo

Los electrodos son conductores eléctricos que se utilizan para hacer contacto eléctrico con una parte no metálica en el circuito como un electrolito, un semiconductor o el vacío. Estos funcionan permitiendo que la corriente fluya al permitir que los electrones viajen del ánodo al cátodo. Durante el EEG se colocan los electrodos en el cuero cabelludo para detectar cargas eléctricas. En este estudio se utilizan electrodos desechables pregelificados que tienen un contacto circular y son adecuados para registros a corto plazo. Los electrodos incorporan gel de electrolito líquido y una concentración de sal de cloruro moderadamente alta para lecturas rápidas y precisas [15].

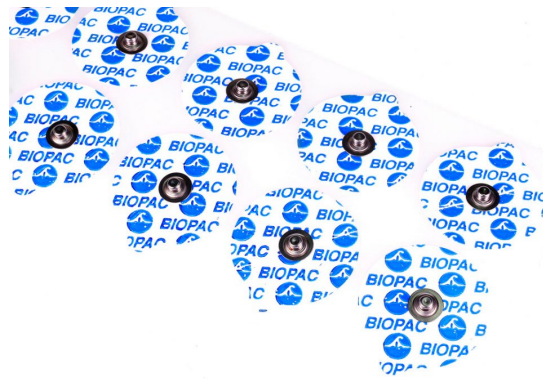


Figura 7: Electrodo desechable pregelificado [15].

6.2.2. Equipo de medición BIOPAC

El equipo de medición BIOPAC se utiliza para registrar, mostrar y analizar las señales de EEG de superficie en humanos y animales. Este ofrece el *software* llamado *Biopac Student Lab* que permite registrar datos en tiempo real por medio de la medición de uno o varios canales. Además permite las opciones de registrar la actividad de ondas Delta, Theta, Alfa y Beta, las cuales son útiles en el presente estudio [16].

6.2.3. Equipo de medición Electro-Cap

El Electro-Cap (Gorro de electrodos en español) es un equipo utilizado para realizar electroencefalogramas asegurando y facilitando la colocación de electrodos según el sistema 10-20. La colocación de electrodos en este sistema es crucial para garantizar la consistencia entre diferentes sesiones de EEG y entre diferentes sujetos. Este presenta marcas y orificios preestablecidos para guiar la colocación precisa de los electrodos en las ubicaciones deseadas [17].

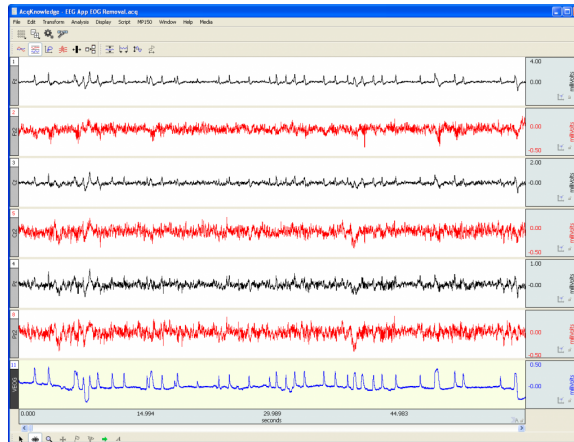


Figura 8: Interfaz del *Biopac Student Lab* para el estudio de EEG [16].



Figura 9: Electro-Cap [17].

Sistema de posicionamiento de electrodos 10-20

El sistema de posicionamiento de electrodos 10-20 es una convención utilizada para la colocación de electrodos en el cuero cabelludo durante electroencefalografías o estudios relacionados. Este sistema asegura una distancia entre los puntos de medición que es aproxi-

madamente el 10 % o el 20 % de la distancia total entre puntos de referencia específicos en el cráneo. Este sistema divide el cráneo en regiones definidas y la posición de los electrodos se determina en relación con estos puntos. La letra inicial de cada posición indica la región en la que se encuentra, entre ellas está: Polo Frontal (Fp), Central (C), Parietal (P), Occipital (O) y Temporal (T). Por otro lado, los puntos en el hemisferio derecho se les asignan números pares, mientras que los puntos del hemisferio izquierdo se le asignan número impares [17].

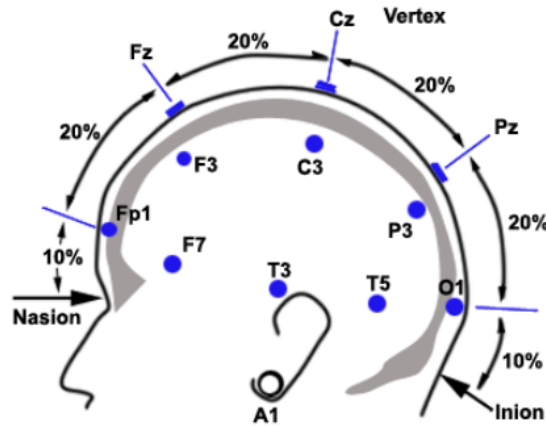


Figura 10: Sistema de posicionamiento de electrodos 10-20 [17].

6.2.4. OpenBCI - *Cyton Board*

OpenBCI es una plataforma de fuente libre que se dedica al diseño de *software* y *hardware* especializado para tomar mediciones a señales bioeléctricas y visualizarlas en la computadora, así como exportarlas para su posterior análisis. Este presenta una gran gama de productos centrados en desarrollar tarjetas con circuitos embebidos especializados en procesamiento de señales con amplificadores. Entre ellos se encuentra la placa *Cyton board*, la cual es una interfaz neuronal de ocho canales de entrada diferenciales, de alta ganancia y bajo ruido. Este implementa un procesador de arquitectura de 32 bits PIC32MX250F128B con gestor de arranque chipKIT. Los datos se muestrean a una frecuencia de 250 Hz en cada uno de los ocho canales. También posee una comunicación inalámbrica por la integración con un dispositivo USB **Dongle** que implementa comunicación por radiofrecuencia [18].

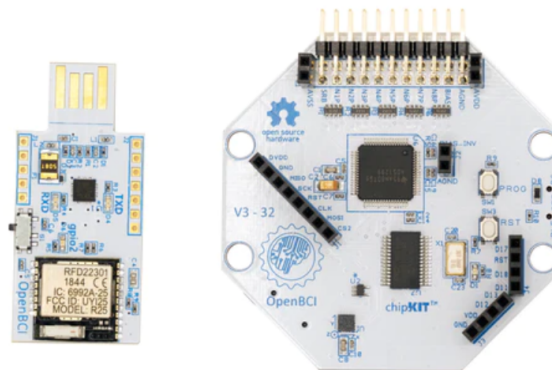


Figura 11: *Cyton Board* y *USB Dongle* [18]

6.3. Pulsos binaurales

Los pulsos binaurales son considerados ilusiones auditivas resultado de escuchar sonidos con frecuencias similares. Cuando se presentan los sonidos, típicamente ondas sinusoidales, por separado en cada oído a través de auriculares, permite que se escuche una forma de “pulso” teniendo que la amplitud de los sonidos combinados aumenta y disminuye a un ritmo igual a la diferencia entre las frecuencias de las ondas sinusoidales. Para que se perciban los pulsos binaurales, la diferencia entre las frecuencias debe ser inferior a 30 Hz, ya que arriba de esta frecuencia el pulso tiende a tomar un tono propio. Además, los dos tonos deben tener frecuencias menores a 1000 Hz. El cerebro responde a los pulsos binaurales sincronizando su propia frecuencia a la frecuencia de los latidos. Esta sincronización se demostró en un EEG estudiado en [19], donde se reveló que escuchar ritmos binaurales sincronizaba las ondas cerebrales de los individuos y provocaban cambios en el estado de ánimo y cognición.

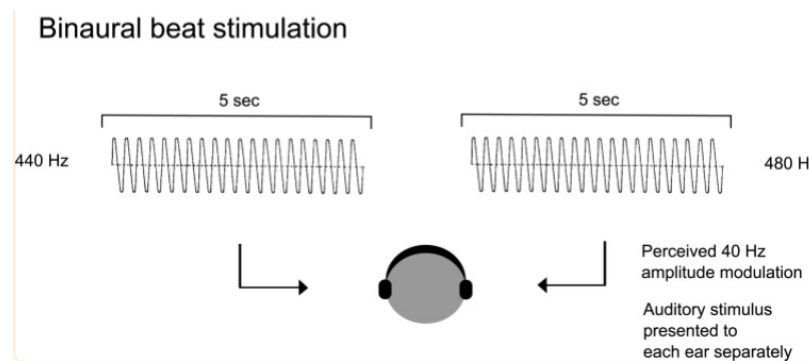


Figura 12: Descripción del funcionamiento de los pulsos binaurales [16].

Los ritmos binaurales dependiendo de la frecuencia así es como afecta y determina el estado siguiente del individuo, lo cual se describe a continuación:

- Ritmos binaurales en el rango delta se han asociado con sueño profundo y relajación.
- Ritmos binaurales en el rango theta están asociados al sueño REM, reducción de la ansiedad, relajación, así como estados meditativos y creativos.
- Ritmos binaurales en el rango alfa fomentan la relajación, promueven la positividad y disminuyen la ansiedad.
- Ritmos binaurales en el rango beta se vinculan a un estado de mayor concentración y de alerta para resolución de problemas y mejora de la memoria.

6.3.1. Ruido rosa

En varios estudios de pulsos binaurales se utilizan estímulos para ocultar la presencia de los pulsos a la percepción consciente, esto se le conoce como “enmascaramiento”. El ruido rosa es de los agentes de enmascaramiento más utilizados [19]. Este es un sonido distribuido aleatoriamente en la banda de baja frecuencia con el espectro de densidad proporcional a $1/f^g$ teniendo el exponente g un valor de 1.

Se cree que este ruido se encuentra en diversos campos como la fluctuación del ritmo cardíaco de los seres humanos, emisiones de cuásares, cognición humana, entre otros [20]. Cuando son percibidos por un oyente, se asemeja a un sonido estático similar al de un canal de televisión sin señal. El propósito de enmascarar los pulsos binaurales es reducir la posibilidad de efectos placebo. Esto quiere decir que si un participante es consciente de las posibles influencias de los pulsos en su estado actual puede responder involuntariamente de forma sesgada.

A continuación se muestran los resultados principales de diversos estudios que usaron ruido rosa y, en algunos casos, pulsos binaurales para determinar si presenta un impacto en las personas.

Efectos del ruido rosa

Se han encontrado diversos estudios que muestran la habilidad de este ruido para cambiar la complejidad de la actividad cerebral de tal forma que se pueda sincronizar con un estado característico. El estudio en [20] realizado para observar el efecto en la sincronización de la actividad cerebral y la consolidación del sueño demostró que las pruebas de sincronización cerebral presentaron una mayor tendencia al momento de usar ruido rosa. Esto indica que el ruido rosa puede ser un posible causante de la sincronización a bajas frecuencias de las ondas cerebrales. En el caso de la consolidación del sueño se demostró que las personas que durmieron con ruido rosa presentaron una tendencia a la mejora en la calidad del sueño. De manera cualitativa, de los 40 sujetos de prueba, 30 afirmaron que habían sentido una mejora, 8 consideraron que no les ayudó, pero tampoco les empeoró el sueño, y 2 afirmaron que se sintieron peor.

En [21] se realizó un meta-análisis acerca de la efectividad del uso de pulsos binaurales con pista moduladora de ruido rosa en dos funciones cognitivas (memoria y atención), ansiedad y analgesia usando los datos de varios estudios. Se observó que se tiene un impacto positivo al momento de usar las frecuencias alfa, beta y gama; y un impacto negativo al momento de usar frecuencias theta. En el caso de la ansiedad, se observó que usar frecuencias delta y theta la reducían. En general, los resultados sugirieron que los pulsos binaurales afectan la memoria, los niveles de ansiedad, atención y la percepción al dolor de forma pasiva dependiendo de la frecuencia, el momento y la duración del pulso binaural.

En [22] se presentó el efecto de los pulsos binaurales, enmascarados con ruido rosa, en la atención y estado de ánimo. Entre los resultados más importantes se encuentran que al aplicar pulsos con frecuencia delta y theta produjeron un deterioro subjetivo en la capacidad de concentración del sujeto. Por otro lado, se observó mejora en el estado de ánimo al momento de realizar una tarea estresante y monótona al momento de aplicar pulsos con frecuencia beta.

6.3.2. Efectos en el estado de ánimo

El estado de ánimo es un estado mental consciente temporal o un sentimiento predominante que a menudo dependen de factores externos. El estado de sueño y relajación de

las ondas delta y theta resultan ser ideales para alterar estados emocionales de conciencia. En [23] se informó que escuchar 20 minutos de pulsos binaurales enmascarados con ruido rosa resultó en un estado más alto de relación percibida en comparación con aquellos que escucharon 20 minutos de ruido rosa sin pulsos binaurales de rango theta. Además se ilustró que las personas que escucharon ritmos binaurales delta y theta durante 30 minutos informaron menos síntomas de estrés percibidos en comparación con los que escucharon música sin pulsos. Las personas que participaron en el experimento mostraron menos estrés tanto en el trabajo como en el hogar. Por último, en [22] se evaluaron datos psicológicos en una muestra de adultos para evaluar síntomas de depresión, estado de ánimo y calidad de vida, por medio de el cuestionario *Profile of Mood States* que consiste en 65 preguntas que continen una puntuación total del estado de ánimo y seis subescalas. Estos pacientes escucharon durante 60 días alrededor de 30 a 60 minutos los pulsos binaurales. Se observó una disminución en la subescala de tensión, ansiedad, confusión y fatiga y un aumento en calidad de vida y estado de ánimo .

6.3.3. Efectos en la concentración

Durante un estudio de memoria verbal en [23] se utilizó la prueba de aprendizaje verbal auditivo en el que se pide a los participantes que repitan una lista de 15 palabras no relacionadas en varias pruebas diferentes. La prueba refleja los procesos de memoria tanto de corto a largo plazo. Se determinó que la estimulación a través de pulsos binaurales a 7 Hz durante una sola sesión de 30 minutos dio como resultado una disminución en el recuerdo de la memoria verbal inmediata. Por el contrario, la aplicación de estimulación con latidos binaurales de 5 Hz durante 15 minutos durante 15 días resultó en un aumento significativo en el número de palabras recordadas después de la estimulación según la escala de memoria Wrechsler III. Por otro lado, en [24] se evaluó los efectos en aplicar pulsos alfa y gama sobre la creatividad en las personas. Se aplicaron estímulos de pulsos durante 3 minutos antes de realizar las tareas de pensamiento divergente que involucraba originalidad, fluidez, flexibilidad y elaboración. Se determinó que aquellos con latidos binaurales alfa y gama demostraron un desempeño positivo y alto en la prueba, a diferencia de aquellos sin estimulación de pulsos.

6.3.4. Efectos en la calidad del sueño

El cerebro tiene tres estados funcionales esenciales: despierto, dormir sin movimientos oculares rápidos y dormir con REM denominado así por sus siglas en inglés (*Rapid Eye Movement*). El estado no REM conocido como NREM por sus siglas en inglés (*Non-Rapid Eye Movement*) es un estado “inactivo” asociado con el descanso del cerebro y las funciones corporales. Los ritmos EEG lentos de gran amplitud durante el sueño no REM indican un alto grado de sincronía de las neuronas corticales subyacentes. Este estado de sueño se subdivide en cuatro etapas distintas relacionadas con el grado de profundidad del sueño denominadas etapa N1 o somnolencia, etapa N2 o sueño ligero, etapa N3-N4 o sueño profundo, para terminar con la quinta etapa denominada sueño REM. Durante la noche una persona atraviesa todas las etapas de manera cíclica, empezando por la etapa 1 y terminando en la etapa REM. En [1] se realizó el estudio del efecto de un latido binaural de 3 Hz en las etapas del sueño teniendo un periodo experimental de tres noches consecutivas compuestas

por una noche de adaptación, noche de referencia y noche experimental. Se determinó que usando un latido binaural de 3 Hz en un tono portador de 250 Hz para modular la actividad neuronal mejora el poder de la actividad delta disminuyendo la duración de la etapa N2, induciendo y aumentando la duración de la etapa N3 sin alterar ni fragmentar el sueño.

6.4. Pruebas estadísticas

El análisis causal permite tomar un conjunto de variables y evaluar si existe una relación causa y efecto entre ellas y sus posibles razones. Este análisis determina si la relación hipotética conduce al resultado deseado. Además, la estructura causal y las relaciones entre variables pueden encontrarse automáticamente a partir de los datos de observación. Existen dos tipos principales de estudios estadísticos causales: estudios experimentales y estudios observacionales. Los experimentales se caracterizan porque se realiza un procedimiento u experimento controlado para generar datos y observar la conexión causal entre la variable y la respuesta esperada. Por el contrario, las observaciones se caracterizan por recopilar los datos de tal manera que no se interfiere directamente en la generación de los mismos.

En estadística, una hipótesis es una afirmación de algún parámetro de la población [25]. Existen dos tipos de hipótesis: la hipótesis nula H_0 , la cual se quiere probar y rechazar, y la hipótesis alternativa H_A , que si se acepta no se puede suponer nada sobre la población. Al momento de contrastar la hipótesis nula existen numerosos factores como el tipo y forma en que se distribuyen las variables y la forma en la que se eligen las muestras del estudio.

Para poder determinar si una hipótesis nula se puede rechazar se utiliza lo que se conoce como **p-valor**. Este puede definirse como el valor más pequeño de α por el que la hipótesis nula se puede rechazar [25], es decir, si se obtiene un p-valor menor que el valor de α se puede rechazar. También se conoce como el nivel de significación crítico o probabilidad exacta de cometer un error de tipo I.

Existen dos tipos de errores:

- Error de tipo I: cuando se rechaza una hipótesis nula verdadera. La probabilidad de cometer un error del tipo I se designa por α .
- Error de tipo II: cuando no se rechaza una hipótesis nula falsa. La probabilidad de cometer un error del tipo II se designa por β .

Cabe agregar que es importante clasificar los tipos de variables. Por variable definimos aquello que toma diferentes valores en los distintos elementos de la muestra o población [25] y se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Variables cualitativas o categóricas: clasifican el conjunto de los elementos de la muestra o población por categorías.
- Variables cuantitativas: miden de manera numérica un conjunto de observaciones de la muestra o población.

Como se mencionó anteriormente uno de los factores es la forma de la distribución de las variables. Estos pueden demostrar una distribución normal, lo que indica que para poder analizarlos correctamente se necesita una prueba paramétrica, mientras que, cuando no cumple con esta distribución se utiliza una prueba no paramétrica. Las pruebas paramétricas pueden ser como la “t” de Student. Estas presuponen una distribución teórica de probabilidad subyacente para la distribución de datos y son más potentes que las no paramétricas. Por el contrario, las pruebas no paramétricas se basan en suposiciones y no presupone ninguna distribución de probabilidad teórica [26].

6.4.1. Prueba t de Student

Esta prueba se utiliza para contrastar la hipótesis nula de igualdad de medias entre dos grupos [27]. Para ello, requiere que la distribución de la variable cuantitativa sea normal en ambos grupos de comparación y la formulación de las hipótesis sea la siguiente:

$$H_0 = \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_A = \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

6.4.2. Análisis de sentimientos

El análisis de sentimientos, también conocido como análisis de opinión o minería de opiniones, es una técnica que se utiliza para determinar la actitud, opinión o emoción expresada en un conjunto de texto. Este análisis puede tener un enfoque cualitativo como cuantitativo. El enfoque cualitativo busca la identificación de temas y patrones en las expresiones sin asignar valores numéricos específicos. El enfoque cuantitativo implica la asignación de puntajes numéricos a las expresiones de sentimientos, por ejemplo, la polaridad del texto. Este último, es una mediad que busca determinar si el contenido es positivo, negativo o neutro para determinar la orientación emocional expresada en el conjunto de texto [28].

6.4.3. Prueba de Wilcoxon

La prueba de Wilcoxon es una prueba estadística no paramétrica utilizada para comparar dos conjuntos de datos relacionados o pareados. Es una alternativa a la prueba t de Student cuando los datos no cumplen con los supuestos de normalidad o cuando la variable de interés no sigue una distribución normal. Generalmente, se utiliza cuando se tienen dos muestras emparejadas o relacionadas con una observación específica en el otro conjunto de datos [27]. La hipótesis nula (H_0) establece que no hay diferencia significativa entre las distribuciones de dos conjuntos de datos pareados. La hipótesis alternativa (H_A) indica que sí hay una diferencia significativa.

6.5. Formatos digitales de sonido

La versatilidad de los formatos de sonido ha permitido almacenar y escuchar archivos de audio a través de diversos dispositivos. Los formatos digitales de sonido son un tipo de archivo que permite almacenar datos de audio digital en un sistema informático teniendo un ancho de banda máximo de 20 kHz. Existen diversas características que clasifican cada formato de audio, pero se pueden dividir en 3 principales siendo estos: formatos sin compresión, comprimido con pérdidas, y comprimido sin pérdidas. En este estudio nos centramos en el formato de audio tipo WAV.

El archivo de audio tipo WAV fue desarrollado por Microsoft e IBM. Puede reproducirse por varios sistemas operativos con facilidad, pero está basado en el formato Microsoft WAVE. Este tipo de archivo es un contenedor para diferentes formatos de audio, por lo que puede contener tanto archivos sin comprimir como comprimidos. Generalmente se utiliza para contener archivos sin comprimir [29].

Módulo generador de pulsos binaurales

En este capítulo se realiza una recopilación de lo realizado en el módulo generador de pulsos binaurales de las fases anteriores y los cambios realizados al mismo en esta nueva fase de investigación. Entre los cambios principales se encuentra la creación de un nuevo generador de pulsos binaurales constantes para el estudio de concentración y estado de ánimo, y un generador de pulsos binaurales tomando en cuenta las etapas para cada uno de los ciclos del sueño. También se menciona los problemas encontrados en el módulo generador anterior y la solución para este nuevo generador.

7.1. Cambios en el generador de fases anteriores

El generador de pulsos binaurales ha presentado diversos cambios a lo largo de la línea de investigación. En la primera versión en [5] se realizó el generador mediante software ya que se evitaban factores como ruido y/o interferencia. En [8] se utilizó una Raspberry Pi porque este brindaba mayor movilidad para el dispositivo, además de una pantalla portátil para colocar el valor del pulso indicando la frecuencia central y el volumen de reproducción. Sin embargo, se detectaron algunos inconvenientes como la falta de una función que presentara versatilidad al momento de modificar los parámetros del pulso binaural, problemas de compatibilidad por la arquitectura de un procesador ARM, problemas con programación multihilos, mala interconexión inalámbrica con audífonos, además de una interfaz gráfica que podía representar un problema de funcionalidad en el futuro.

La última versión en [9] retomó una implementación en software mediante el lenguaje de programación Python utilizando una computadora portátil. Esto con el principal motivo de mejorar la producción continua de pulsos binaurales y la eficiencia del módulo, siendo compatible con la interconexión de audífonos inalámbricos brindando comodidad al usuario. Para la implementación se agregó a la función generadora una característica de *Crossfade*.

lo cual brinda una transición suave hacia el siguiente pulso manteniendo una sensación de continuidad. Para ello se utilizó la librería de Python *AccelBrainBeat* [30] y objetos de tipo *BinauralBeat* creando un pulso genérico. Después se implementó una función nativa llamada *Save Beat* para indicar los parámetros deseados como las frecuencias centrales, tiempo de reproducción y volumen para el pulso específico.

Debido a que el pulso binaural original puede parecer molesto por su patrón repetitivo, se añadió una pista moduladora. Esta pista no afecta el contenido frecuencial al audio, por lo que no está modificando el pulso binaural que escucha la persona, solamente aporta comodidad al proceso de escucha. Esto se verificó realizando la mezcla de la pista con un pulso binaural de 12 Hz comenzando en 250 Hz y finalizando en 262 Hz. En la Figura 13 se muestra la forma de onda del audio tomando en cuenta el nivel de volumen normalizado en porcentaje en función del tiempo. Se observa que cambia la amplitud del audio a lo largo del tiempo debido a la aplicación de *Crossfade* afectando las variaciones en el volumen.

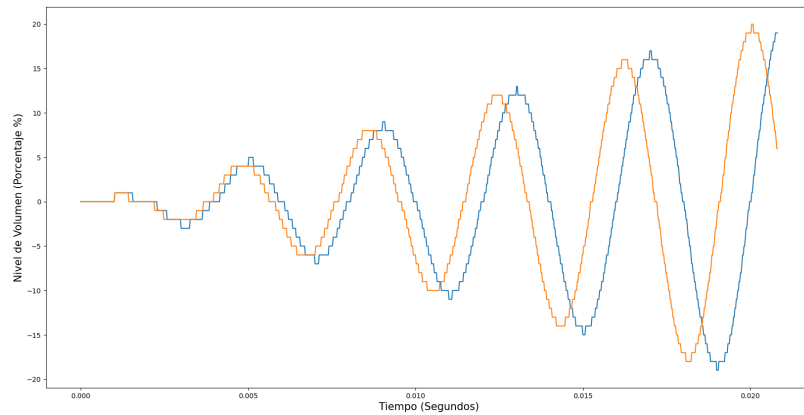


Figura 13: Pulso binaural modulado con pista moduladora [9].

También se verificó en la Figura 14 en la cual se muestra el espectro de frecuencia del audio de ambos canales (izquierdo y derecho). Se puede observar que se mantiene en 250 Hz y 262 Hz teniendo solamente una pequeña variación en un nivel de volumen menor a 5%. Esto indica que se requiere para la aplicación como mínimo ese nivel de volumen para mantener las frecuencias centrales esperadas.

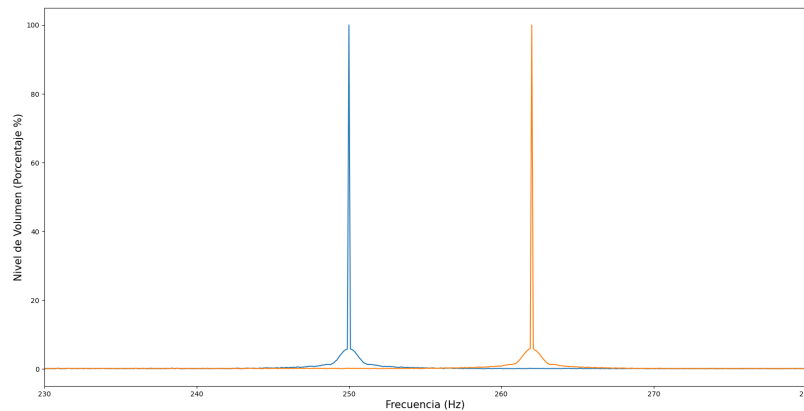


Figura 14: Transformada Rápida de Fourier (FFT) del pulso binaural modulado con pista [9].

En la Figura 15 se puede observar el flujo para la creación de los pulsos binaurales usando el proceso de modulación y *Crossfade* de la librería *PyDub* en la cual permite realizar modificaciones de audio como sumar, recortar y añadir contenido externo.

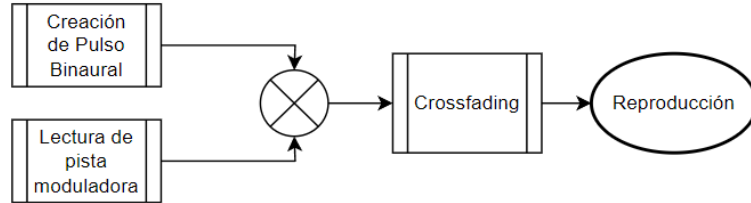


Figura 15: Flujo del generador de pulsos binaurales [9].

Se observó que el módulo generador funcionaba de manera fluida, sin embargo presentaba algunos problemas al momento de ser usado por un período largo de tiempo debido a que no se tenía un uso adecuado de la programación multihilos lo cual provocaba un corte en la reproducción del pulso binaural. Además, solamente estaba enfocado al estudio del sueño, ya que en las fases anteriores de la línea de investigación no se tenía contemplado el estado de ánimo y concentración de las personas.

7.2. Módulo generador actual

Para el módulo generador de pulsos binaurales se utilizó como base el módulo generador de la fase anterior adecuándolo al estudio de concentración y estado de ánimo. Para ello se mantuvo la utilización de la librería de Python *AccelBrainBeat* y objetos de tipo *BinauralBeat*. Además, se necesitó FFmpeg, la cual es una estructura multimedia capaz de transmitir, filtrar y reproducir archivos de audio o video. Sin embargo, se decidió enfocar el estudio desde una nueva perspectiva teniendo pulsos binaurales constantes para el estudio de concentración y estado de ánimo y una rutina “ideal” de pulsos binaurales para el estudio del sueño. Esto se debe a que se utilizó el generador de pulsos binaurales sin la integración del clasificador de etapas, para así mantener los mismos factores y realmente visualizar el impacto que tiene el uso de los pulsos binaurales en los sujetos de prueba.

Se comenzó realizando pruebas cortas con el código de la fase anterior para así determinar cómo funcionaban las librerías para la reproducción del pulso binaural, así como determinar el uso adecuado de los parámetros de la función. Se observó que se tenían errores para poder acceder al archivo de audio que contenía el pulso binaural, ya que se utilizaba la función *Play* de la librería *Pydub* [31]. Esta función necesitaba acceder a un archivo temporal para generar la exportación del audio y reproducirlo. Se investigó acerca de los requisitos necesarios para utilizar dicha función y se encontró que el error se presenta en sistemas operativos Windows 10 y 11, debido a un cambio de permisos en los archivos temporales que utiliza esta función. Para poder solucionar el problema se realizó un cambio en el archivo “playback.py” como se muestra a continuación:

```

1 def _play_with_ffplay(seg):
2     with NamedTemporaryFile("w+b", suffix=".wav") as f:
3         f.close() # close the file stream
4         seg.export(f.name, "wav")
5         subprocess.call([PLAYER, "-nodisp", "-autoexit", "-hide_banner", f.
name])

```

Código 1: Reproducir audio mediante ffplay en Python.

El cambio principal es en la línea 3 del código, al agregar el comando `f.close()`, le permite volver a abrir el archivo temporal y poder reproducirlo. De igual manera se buscó otras alternativas que permitiera la reproducción del pulso binaural en forma de respaldo. Entre ellas se encuentra el uso de la librería *Sounddevice* [32], la cual permite reproducir matrices tipo *Numpy* que contiene señales de audio. Junto con esta se necesita la librería *Soundfile* la cual presenta una función de lectura que devuelve la data de varios formatos de archivo de audio o video en un matriz de *Numpy*, así como la frecuencia de muestreo [33]. Sin embargo, después de resolver el problema con la librería *Pydub* se decidió solamente utilizar la función *play*, ya que esta permitía un funcionamiento más fluido.

Además, para el uso adecuado de la programación multihilos se utilizó la función *join* de la librería *Threading*. Esta función asegura la terminación correcta del hilo antes de comenzar uno nuevo, de esta manera se asegura la reproducción completa del pulso binaural.

7.2.1. Pulsos binaurales para el estudio de concentración y estado de ánimo

Para el estudio de concentración y estado de ánimo se realizó una rutina de pulsos binaurales constantes tomando las frecuencias entre 200 y 300 Hz teniendo una diferencia variable entre ambos canales. Esto se realizó con el fin de poder determinar la frecuencia que genera mayor impacto, si lo hubiera, en la concentración y/o en el estado de ánimo de la persona. Se realizó una rutina principal para la exportación del audio del pulso binaural con la mezcla de la pista moduladora permitiéndole al usuario poder modificar la duración del pulso, la frecuencia del canal izquierdo y del canal derecho. También se decidió realizar la exportación del pulso usando un enmascaramiento con ruido rosa para poder determinar si el uso de ruido rosa podía causar algún tipo de efecto.

Debido a que tanto la pista moduladora como la pista con ruido rosa podía variar de duración con respecto a la exportación del audio, se decidió realizar dentro de la programación un re-muestreo del audio de tal manera que pudiera repetirse cuantas veces fuera necesario para cumplir con la duración esperada del audio. Por otro lado, se decidió quitar para este proceso una programación multihilo debido a que solamente se tendría el proceso de exportación del audio como se observa en la Figura 16.

También se realizó un código secundario para permitir la reproducción del pulso binaural constante desde Python con el fin de poder escuchar el pulso binaural antes de su reproducción en caso se quiera realizar algún cambio en la frecuencia o demás parámetros. Este código utiliza la librería *Pydub* para la reproducción del pulso binaural. Nuevamente se utiliza una pista moduladora y un objeto *BinauralBeat*. En este caso sí se utilizó una programación multihilo debido a que se observaron cortes durante la reproducción del pulso. El programa

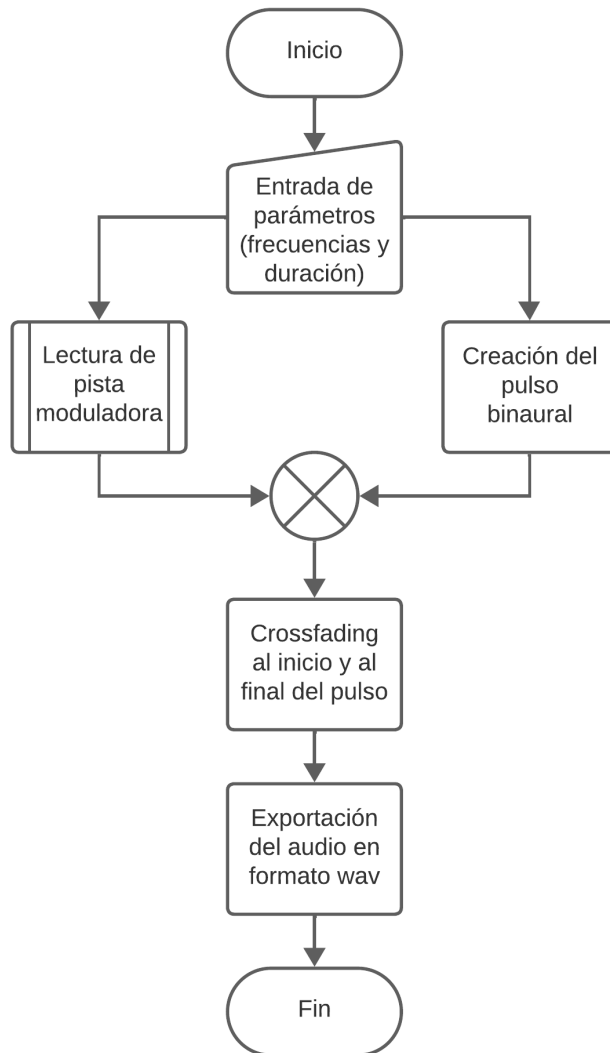


Figura 16: Flujo del módulo generador de pulsos binaurales actual.

comienza llamando la función del pulso binaural teniendo como argumentos la frecuencia del canal izquierdo y derecho. En la función se mezcla la pista junto con el pulso binaural, imprime un mensaje de las frecuencias que se están reproduciendo y se calcula la frecuencia de muestreo para poder proseguir con la reproducción. El programa se detiene una vez se presione el botón para terminar la ejecución de *Jupyter Notebook*. El proceso de este código se observa en la Figura [17](#).

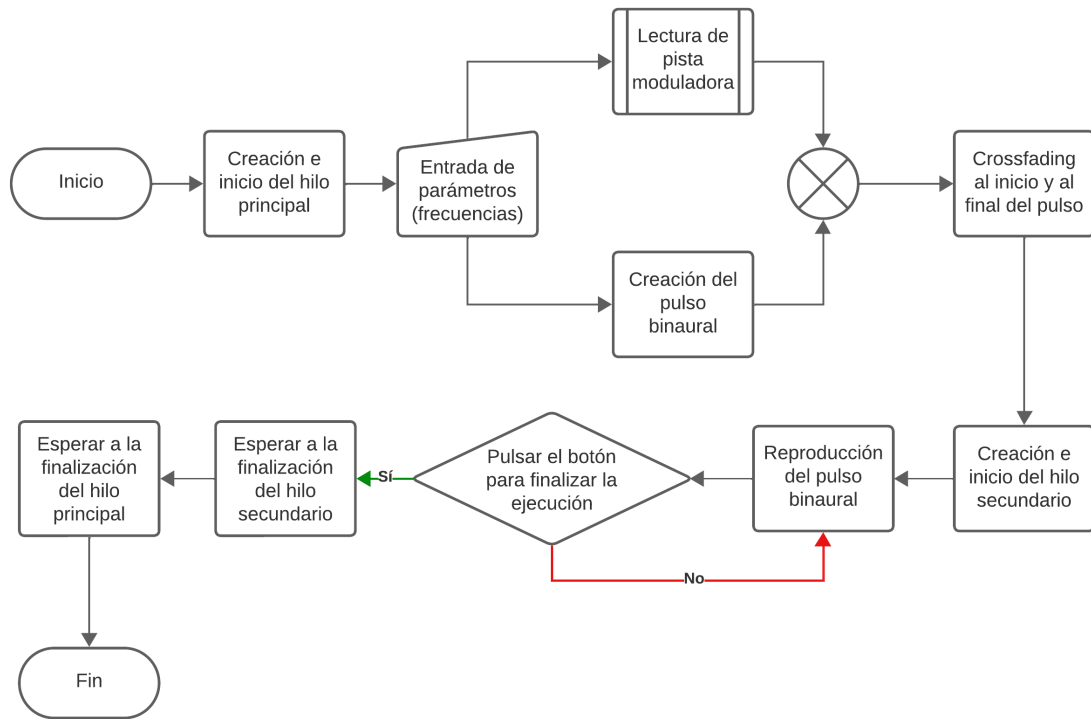


Figura 17: Flujo del reproductor de pulsos binaurales actual.

También se mantuvo las rutinas para la verificación de las frecuencias centrales graficando tanto la forma de la onda de audio y la transformada de Fourier para observar las frecuencias centrales del canal izquierdo y derecho tanto con la pista moduladora como sin la pista. Además, se observa la aplicación del inicio y final suave para comodidad del individuo. Para ello se utilizaron las librerías *Numpy* y *Matplotlib*. Cabe mencionar que estas se utilizaron para verificar tanto el uso de la pista moduladora como de la pista de ruido rosa, ya que se desea que en el audio predomine las frecuencias del pulso binaural.

7.2.2. Pulsos binaurales para el estudio del sueño

Para el estudio del sueño se comenzó determinando los tiempos para cada uno de los ciclos ideales. Se tomó en consideración los tiempos estipulados en [34]. Por lo que, se realizó el diccionario de frecuencias de las etapas del sueño como se observa en el Cuadro 1, tomando en cuenta las ondas cerebrales que predominan en cada etapa. También se tomó en consideración que durante los primeros minutos del primer ciclo todavía el individuo se encuentra despierto, por lo que se tomó una frecuencia entre 250 Hz a 260 Hz.

Se decidió realizar una rutina para cinco ciclos, comenzando con un total de 90 minutos para el primer ciclo y de 110 minutos para el último ciclo. Esto debido a que en [34] se menciona que los ciclos para cada etapa del sueño se encuentran entre ese rango de tiempo y avanzan progresivamente las etapas N2, N4 y REM como se observa en el Cuadro 2. Esto debido a que durante la noche idealmente se va teniendo un descanso más profundo. Además,

Etapa	Frec. izquierda	Frec. derecha	Pulso binaural
N1	250	258	8
N2	250	256	6
N3	250	253	3
N4	250	252	2
REM	250	265	15

Cuadro 1: Frecuencias para cada etapa del sueño en Hertz.

se agregó una pre-etapa REM que consiste en 2 a 4 minutos de la etapa N2 y N3 de manera progresiva para evitar un cambio brusco entre el pulso binaural de la etapa N4 a la etapa REM.

Ciclo	Etapa N1	Etapa N2	Etapa N3	Etapa N4	Pre-etapa REM	Etapa REM
1	10	10	15	20	4	15
2	8	26	10	25	4	22
3	7	30	8	27	4	24
4	6	33	5	32	3	26
5	5	35	5	36	2	27

Cuadro 2: Tiempo para cada ciclo según etapas del sueño en minutos.

Cabe mencionar que la duración total de los cinco ciclos del sueño consisten en un total de 8 horas y media de sueño para tener un descanso profundo. Sin embargo, estas rutinas se pueden ir adaptando a las necesidades del sujeto de prueba para colocar la duración de pulsos binaurales el total de horas en las que el sujeto tiene usualmente su ciclo de sueño.

Después de determinar estos parámetros, se prosiguió a realizar el código principal para la exportación del audio para cada uno de los ciclos del sueño, tomando en cuenta el tiempo estipulado en minutos. Cabe mencionar que se realizó la exportación de un ciclo a la vez debido a la duración y uso de recursos. El código comienza llamando a la función junto con los tiempos del ciclo que se quiera exportar y se utiliza un suavizado al inicio y al final de cada ciclo para lograr un cambio fino y así evitar que la persona salga del ciclo del sueño. Esto se puede observar en la Figura 18. Después de tener todos los ciclos exportados, se puede utilizar un reproductor multimedia para reproducirlos de forma secuencial.

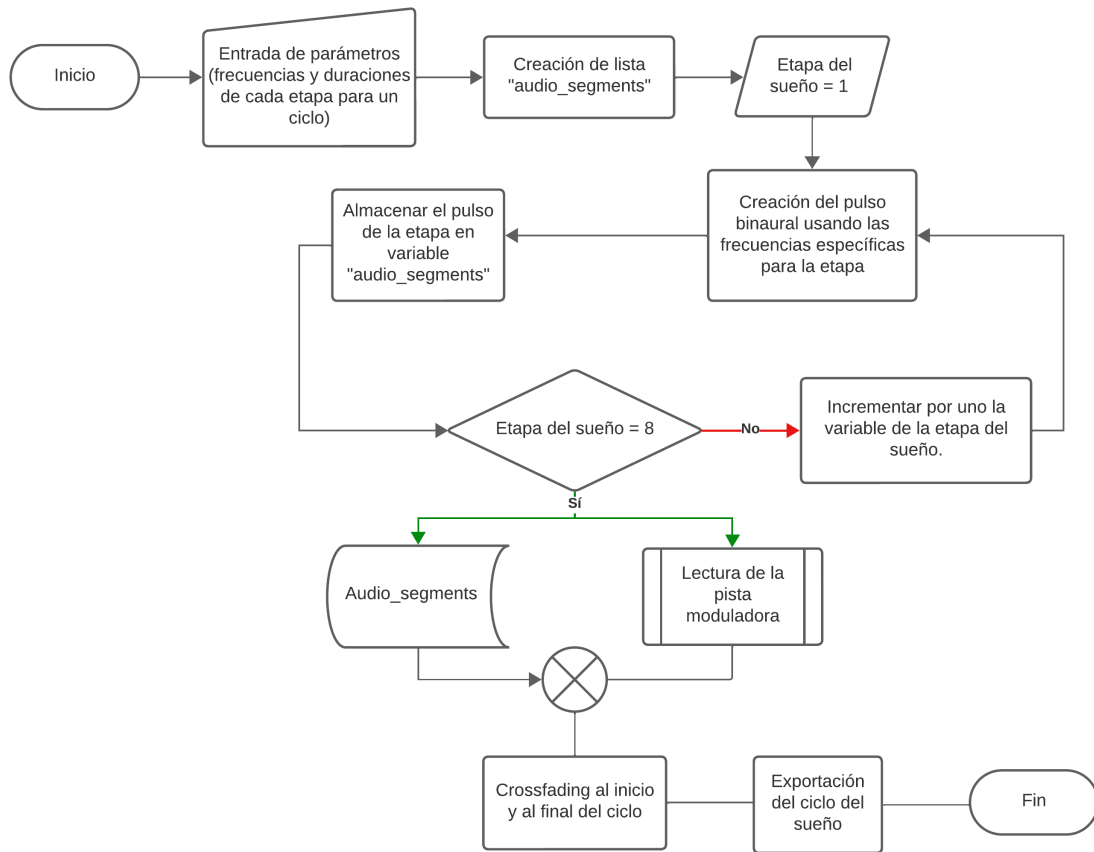


Figura 18: Flujo del generador de pulsos binaurales para el estudio del sueño.

Procedimientos y directrices para el uso de los dispositivos de adquisición de datos

En este capítulo se mencionan los procedimientos a seguir para la conexión de los dispositivos Biopac y Electro-Cap con la placa desarrollada por OpenBCI. El primero fue utilizado para el estudio de concentración y estado de ánimo, mientras que el segundo fue utilizado para el estudio del sueño. Se mencionan los problemas encontrados en ambos equipos y parámetros específicos que ayudaron a tener la medición de una señal más estable. Ambos dispositivos fueron utilizados en conjunto con el *software* desarrollado de sus respectivas empresas. Esto fue determinado después de realizar múltiples pruebas con otros programas y observar que la mejor señal se encontraba en dichas interfaces.

8.1. Procedimiento para el estudio de concentración y estado de ánimo

Para el estudio de concentración y estado de ánimo se utilizó principalmente el equipo Biopac modelo MP41 como se observa en la Figura 19, también conocido como el modelo *Home Edition*, pero también se realizaron algunas pruebas con el modelo MP36 canal 1. Para poder utilizar este equipo se necesitó el *software* Biopac Student Lab versión 4.1, el cual permite la calibración del equipo y verificación del contacto de los electrodos con la piel, así como la captura de datos en tiempo real.



Figura 19: Biopac modelo MP41, *Home Edition* [16].

Cabe mencionar que se buscó la forma de realizar la comunicación entre el equipo y el computador por medio de algún lenguaje de programación para poder analizar los datos en tiempo real. Sin embargo, Biopac no ha desarrollado una API para el dispositivo ni se encontró alguna librería para poder realizar la conexión. Debido a eso se decidió utilizar la versión más reciente y estable brindada por Biopac. Por lo que, la comunicación entre el dispositivo Biopac y el computador se realizó como se observa en la Figura 20.

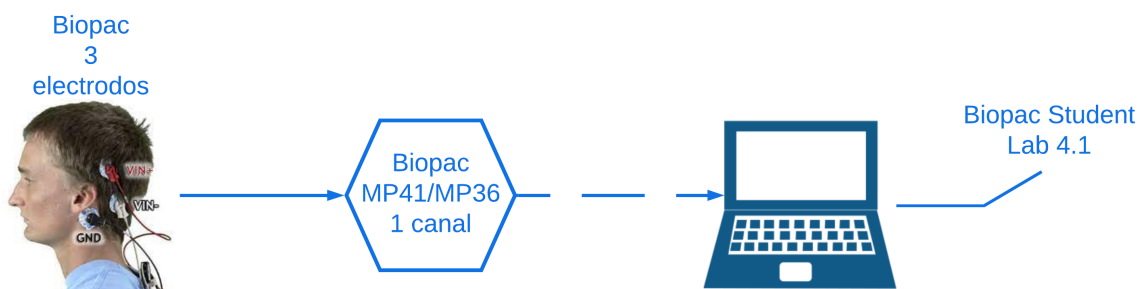


Figura 20: Representación esquemática del *hardware* y *software* usado para la recolección de datos del estudio de concentración y estado de ánimo.

Para el estudio se utilizaron 3 electrodos siendo dos para el voltaje positivo y negativo, y otro para la referencia como se observa en la Figura 21. Antes de realizar las grabaciones para la recolección de datos, se verificó la impedancia de los electrodos siendo esta menor a $10k\Omega$, el valor máximo estándar que indica tener un contacto adecuado entre la cabeza del individuo y los electrodos. Después, se prosiguió a realizar la calibración del equipo, mediante la recolección de datos del sujeto mientras tiene los ojos cerrados.

La recolección de datos dentro del *software* es bastante intuitiva, simplemente se presiona el botón de *Record* y una vez se termine con la grabación, presionando el botón de *Stop*, se abre una ventana adicional para poder analizar los datos recopilados. Dentro de esta ventana, se logró obtener la extracción de la señal según la banda frecuencial, es decir, se clasificó cada onda cerebral como se observa en la Figura 22. Además, permitió la extracción de parámetros como el tiempo de muestreo, amplitud de la señal, promedio de la señal, entre otras.

Cabe mencionar que se realizaron varias pruebas preliminares para determinar los pará-



Figura 21: Colocación de electrodos para el estudio de concentración y estado de ánimo [16].

metros mencionados anteriormente. Se observaron algunos problemas durante estas pruebas como que la duración de la recopilación de datos se limitaba a un período de 30 minutos. Se buscó diferentes alternativas para poder utilizar este mismo equipo tanto para el estudio de concentración y estado de ánimo, como para el estudio del sueño, con el fin de tener un equipo estandarizado para el estudio. Sin embargo, solamente se encontró versiones “Pro” del mismo GUI y no se especificó en los manuales de usuario si se tendría una opción para cambiar dicho límite. Debido a eso se decidió utilizar un equipo diferente para el estudio del sueño.

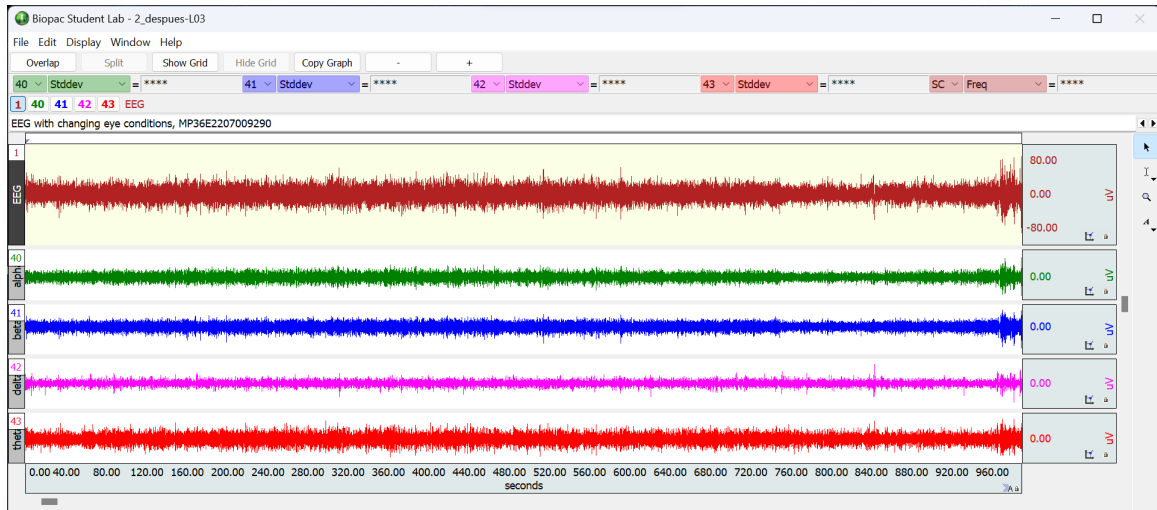


Figura 22: Ventana de análisis de datos en Biopac Student Lab.

8.2. Determinación del método de captura de datos para el estudio del sueño

Para el estudio del sueño se utilizó el Electro-Cap conectado a la placa *Cyton Board* de OpenBCI. Esta placa tiene su propia interfaz de OpenBCI, la cual permite la recolección de datos de los 8 canales de la placa. Además, se tenía el programa en Python realizado en la fase anterior, que permite la recolección de los datos junto con la extracción de las

características en tiempo real tomando datos cada 30 segundos. Por lo que, lo primero que se realizó fue la comparación en ambos métodos de recolección de datos.

Se comenzó utilizando el programa en Python de la fase anterior utilizando la librería *Brainflow* para lograr la comunicación entre el *Dongle* USB y el programa. El código abre una nueva sesión para la recolección de datos, captura los datos durante 30 segundos y después extrae solamente los del canal 3, ya que este es el que está conectado al *Cyton Board*. Prosigue con el cálculo y extracción de las características de dicha señal, y luego escribe los datos dentro de un archivo csv. Si este archivo no está creado previamente, lo crea y después escribe lo calculado. Esto se realiza hasta que se detiene la ejecución del *Kernel* de *Jupyter Notebook*. Una vez se detiene, cierra la sesión e imprime un mensaje en el cual indica que ocurrió una interrupción manual. A diferencia de la fase anterior, el código no está integrado al generador de pulsos binaurales, lo que permite un flujo plenamente de captura de datos. A pesar de la ventaja de poder extraer las características en tiempo real y poder tener un archivo menos denso debido a la captura de datos cada 30 segundos, no se obtuvo una lectura fiable desde la placa. Esto se debió a que no se pudo encontrar una manera de modificar las configuraciones de *hardware* de la placa.

Debido a lo mencionado anteriormente, se decidió migrar a la captura de datos a través del *software* de OpenBCI versión 5.2.2. Este permite la recolección de datos en tiempo real y guardarlo en un archivo txt. Además, la interfaz permite observar la conexión con 8 electrodos del Electro-Cap, siendo estos pines los definidos en el Cuadro 3.

No.	Nodo 10-20
1	Fp1
2	Fp2
3	C3
4	C4
5	P7/T5
6	P8/T6
7	O1
8	O2

Cuadro 3: Pines por defecto del Electro-Cap según configuración de la *Cyton Board* [35].

Esto es de gran ayuda para observar si se está teniendo una lectura adecuada de datos. También brinda otras funciones como la gráfica de la transformada rápida de Fourier, el voltaje relativo de las ondas cerebrales, la impedancia de cada canal, entre otros. Además, permite la configuración de *hardware*, el cual era el problema principal del programa en Python. Este permite modificar la ganancia, seleccionar el tipo de entrada, determinar si se incluye o no el *Bias*, así como, identificar el pin de referencia correcto. En este caso se seleccionó una ganancia de 24, con una entrada normal, incluyendo el pin de *Bias* y la referencia SRB1. Por lo que, la comunicación entre el Electro-Cap, la *Cyton Board* y el computador se realizó como se observa en la Figura 23.

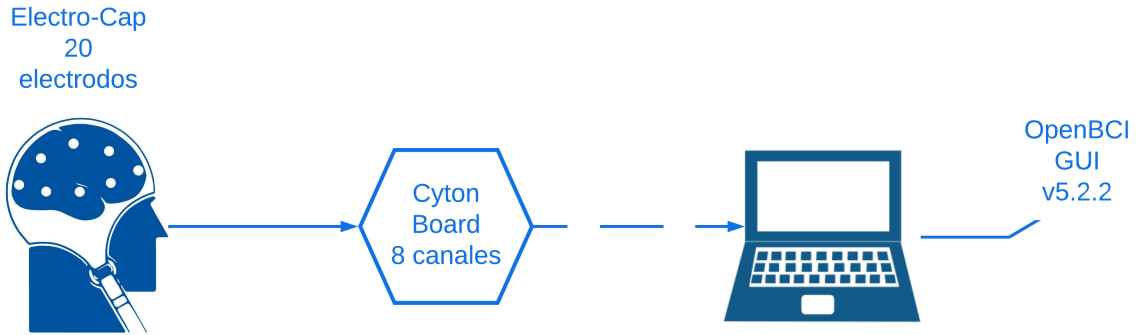


Figura 23: Representación esquemática del *hardware* y *software* usado para la recolección de datos del estudio del sueño.

8.2.1. Parámetros específicos del equipo

Como se mencionó anteriormente existen ciertos parámetros específicos para que el equipo del Electro-Cap funcione correctamente junto con la placa. A pesar que la placa permite la lectura de ocho pines a la vez, solamente se usó un canal para mayor facilidad en el manejo de los datos. En este caso, se utilizó el pin/electrodo 3 debido a que dentro del equipo se tenía una placa de circuito impreso (PCB, por sus siglas en inglés) que permite la conexión entre el Electro-Cap y la *Cyton Board* usando un adaptador DB25 tipo hembra para montaje de PCB y *headers* tipo hembra, ambos con los pines de montaje a 90° para facilidad de conexión. Esta placa tenía solamente algunos pines interconectados, siendo estos los siguientes:

No. de pin Electro-Cap	Nodo 10-20
1	Fp1
2	F3
3	C3
5	O1
14	Fp2
18	O2
22	Cz
23	Pz

Cuadro 4: Pines de la placa para interconexión entre el Electro-Cap y la *Cyton Board*.

Como se puede observar en el Cuadro 4 se tenían disponibles los pines Fp1, Fp2, C3, O1, y O2, ya que estos son los que tienen en común con la configuración por defecto de OpenBCI (ver Cuadro 3). Como se observa en la Figura 24, los pines Fp se encuentran en la parte frontal de la cabeza, mientras que los O se encuentran en la parte posterior de la cabeza. Estos son usados generalmente como referencia para las señales de los demás canales, por lo que, el pin que permitía la lectura de la señal EEG necesaria para el estudio era el C3. Este debido a que se encuentra al centro de la cabeza según el sistema internacional 10-20, lo cual permite tener una lectura más estable.

Por otro lado, se encontraban interconectados el pin de *Bias* al nodo A1 y la referencia

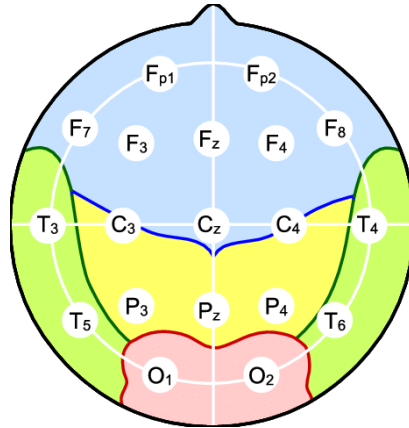


Figura 24: Sistema de posicionamiento de electrodos 10-20 con áreas y pines identificados [36].

SRB1 al nodo A2, por lo que también se utilizaron dichos pines. Cabe mencionar que se colocó el nodo A1 y A2 en el lóbulo de cada oreja de la forma estándar. La conexión final a la *Cyton Board* se encuentra en la Figura 25, siendo el cable naranja la conexión del nodo A2 a la referencia SRB1, el cable amarillo la conexión al nodo C3 al canal 3, y el cable violeta la conexión al nodo A1 al pin de *Bias*.

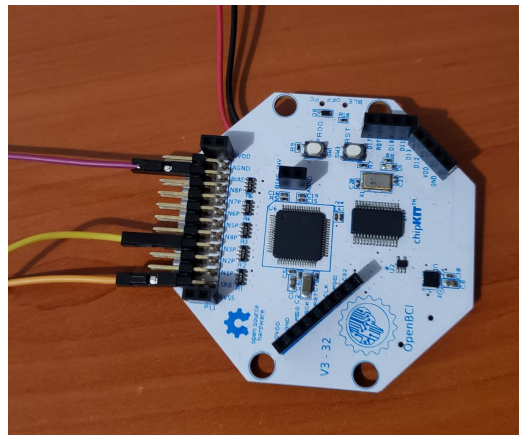


Figura 25: Conexión del Electro-Cap con la *Cyton Board*.

Dentro de la interfaz de OpenBCI se verificó que el estado del pin/electrodo de la señal se encontrara por debajo de los $10k\Omega$ antes de iniciar la sesión de grabación. Esto se pudo observar dentro de la pestaña *Cyton Signal* en el modo de impedancia (ver Figura 26). Se decidió este valor para el límite de impedancia, debido a que es el valor máximo estándar que indica tener un contacto adecuado entre la cabeza del individuo y los electrodos usados. Cabe mencionar que el modo de verificación de impedancia inyecta ruido de 31.5 Hz en el canal individual, por lo que solo se puede verificar uno a la vez debido al ruido que crea en los canales cercanos.

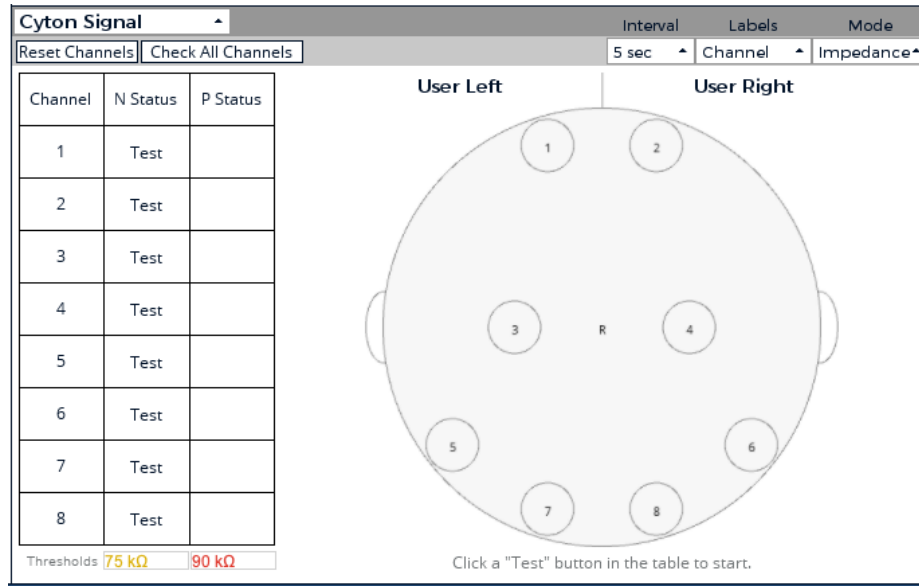


Figura 26: Pestaña *Cyton Signal* [35].

También se observó el porcentaje de *Railed* dentro de la pestaña *Time Series* (ver Figura 27). Este porcentaje, si se encuentra en *Railed*, significa que la amplitud de la señal excede el valor máximo para la escala utilizada. Usualmente, indica que el electrodo no está teniendo un contacto directo con la piel. Para resolver este problema se tomaron dos soluciones: reducir la ganancia del canal en las configuraciones de *hardware* y/o agregar Electro-gel al pin.

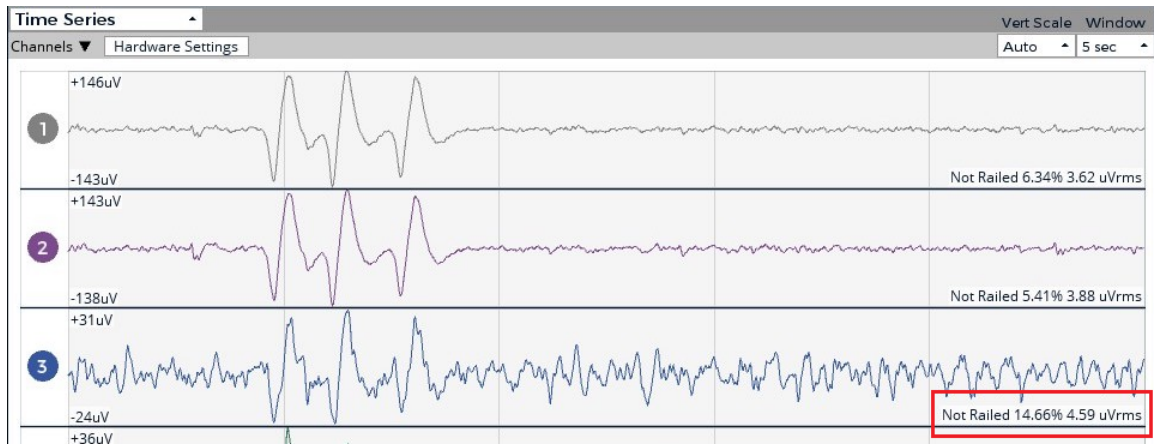


Figura 27: Pestaña *Time Series* [35].

También se verificó la pestaña de *Head Plot* la cual indica el estado de las entradas de los pines (ver Figura 28). Se utilizó la polaridad “+/-” que indica el valor real medido desde la referencia.

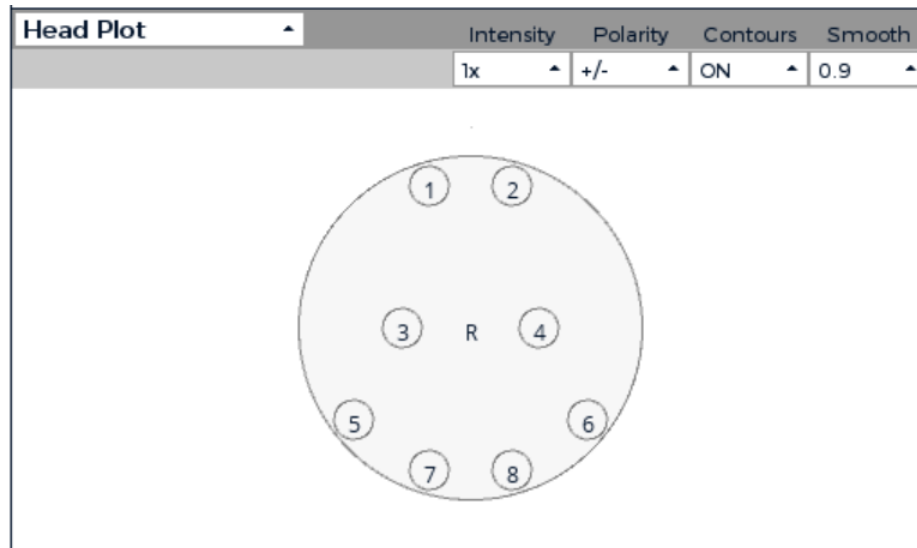


Figura 28: Pestaña *Head Plot* [35].

Diseño de metodología: documentos protocolarios y pruebas experimentales

En este capítulo se menciona el diseño de la metodología utilizada para el estudio de concentración y estado de ánimo como para el estudio del sueño. Se comenzó con el diseño de los documentos protocolarios, siendo estos el consentimiento informado tanto para el estudio de concentración y estado de ánimo así como para el estudio del sueño, y el protocolo de investigación. Estos se adjuntan en los anexos de este trabajo (ver capítulo 15). Se mencionó los cambios y similitudes con los documentos realizados en la fase anterior, siendo el mayor cambio que se tuvo que adaptar al estudio de concentración y estado de ánimo. Sin embargo, se mantuvo la estructura inicial del documento. También se cambió la metodología del uso de los equipos debido a que ahora se utiliza el dispositivo Biopac y también el Electro-Cap. Por otro lado, se definieron las pruebas experimentales y sus respectivas metodologías. Cabe mencionar que se presenta la metodología de dichos estudios de manera breve, tomando en cuenta que el protocolo de investigación es el documento oficial que explica los experimentos a realizar. Además, se menciona cómo se utilizan dichas pruebas para visualizar el impacto de los pulsos binaurales. Por último, se menciona el trabajo en colaboración que se está realizando con el fin de poder enriquecer ambos estudios.

9.1. Cambios y similitudes en documentos protocolarios realizados en las fase anterior

Entre los cambios realizados se encuentra que se expandió el estudio, ya que ahora se analiza tanto las etapas del sueño como el estado de ánimo y concentración de las personas. Por lo que se decidió realizar un consentimiento informado para las personas participantes del estudio del sueño y otro consentimiento para los del estudio de concentración y estado de ánimo. Por lo mismo se tuvo que cambiar el protocolo de investigación con el fin de poder orientar y dirigir la ejecución del experimento para ambas áreas del estudio. La estructura

del consentimiento informado se tomó de la siguiente manera:

- Información sobre la investigación: en esta sección se mencionó el nombre del estudio, lugar y fecha, número de sujetos y encargados de la investigación.
- Propósito y objetivo del estudio
- Procedimiento: se tomó en cuenta las metodologías específicas para cada área de estudio, así como el equipo a utilizar.
- Uso y confidencialidad de los datos
- Riesgos poco frecuentes asociados a su participación en el estudio: se tomó en cuenta los riesgos según el equipo a utilizar para las mediciones de las señales bioeléctricas.
- Beneficios asociados a su participación en el estudio
- Voluntariedad
- Declaración de consentimiento de participación
- Declaración del encargado de la investigación
- Firmas y contactos tanto de los investigadores como del asesor

En el caso del protocolo de investigación, se presentó tanto la metodología de ambas áreas del estudio, así como un breve marco teórico con las definiciones de pulsos binaurales así como sus efectos en el estado de ánimo, concentración y calidad del sueño. Esto con el fin de brindar un documento para determinar y fijar procedimientos específicos para realizar la investigación. Además, se colocó una descripción de la forma de realizar el procesamiento de datos, al igual que las pruebas estadísticas utilizadas.

9.2. Consentimiento informado para el estudio

Para el estudio del sueño se estableció una metodología específica utilizando el equipo del Electro-Cap en conjunto con la *Cyton Board*. Esto se debe a que la tarjeta se podía conectar desde la interfaz desarrollado por OpenBCI lo que permitía la recolección de datos durante toda la noche. Como se mencionó en el capítulo 8, el equipo de Biopac con el software *Student Lab 4.1* solamente permitía lecturas con un tiempo máximo de 30 minutos, lo que restringió su uso para el área de concentración y estado de ánimo.

Entre los riesgos asociados al estudio se citaron los siguientes:

- Irritación en la piel por el contacto con el gorro que contiene los electrodos, la cual desaparecería en horas.
- Leve dolor de cabeza.
- Dificultad para conciliar el sueño, en el caso del estudio del sueño.

Cabe mencionar que el documento del consentimiento informado se realizó con el objetivo de informar, así como de solicitar la autorización de los individuos explicando todos los aspectos relacionados a la utilización y manejo de la información de los sujetos. En el documento para el estudio de concentración y estado de ánimo se mencionó que el objetivo principal es analizar el impacto en el estado de ánimo y concentración de un sistema de generación de pulsos binaurales. Esto con el fin de poder obtener información preliminar para mitigar problemas emocionales como estrés, ansiedad, tensión entre otros. En el caso del estudio del sueño se mencionó que el objetivo principal es analizar el impacto en la calidad de sueño de un sistema de generación de pulsos binaurales integrado a un clasificador automático de etapas de sueño. Esto con el fin de obtener información preliminar sobre las terapias de neuro-retroalimentación y cómo estas pueden ser útiles para mitigar los problemas relacionados al sueño.

9.3. Pruebas experimentales

En esta sección se encuentran las pruebas experimentales realizadas para el estudio de concentración, estado de ánimo y sueño. Se menciona la metodología utilizada para cada una de ellas, así como la forma en la que se analizan los datos capturados. Para las pruebas de concentración se realizó un total de tres pruebas: razonamiento aritmético, prueba de Toulouse-Pieron y actividad libre. Para las pruebas de estado de ánimo se realizaron dos pruebas: el cambio en el estado de ánimo al realizar pruebas de concentración y el cambio en el estado de ánimo al observar videos y leer cuentos cortos en los que predomina una emoción. Para esta última se realizó una prueba de control y otra prueba utilizando pulsos binaurales tomando en cuenta tres emociones: alegría, tristeza y frustración. Para las pruebas de sueño se realizó una prueba de control y la prueba con presencia de la rutina ideal de pulsos binaurales tomando un total de tres noches para realizar la prueba completa. Cabe mencionar que para algunas de las pruebas mencionados se utilizó tanto pulsos binaurales con y sin la mezcla de ruido rosa. Esto también para determinar las mejores condiciones para realizar el estudio.

9.3.1. Pruebas para el estudio de concentración

Para el estudio de concentración se tomó en cuenta otros métodos de validación para así poder determinar el impacto de manera tanto cualitativa como cuantitativa. Entre estas pruebas se encuentran una de múltiples operaciones aritméticas y otra de identificación de figuras a lo largo de una serie de elementos durante quince minutos. Para la primera se utilizó la página web: olimato.it [37]. Como se muestra en la Figura 29, el sujeto de prueba debe realizar de manera mental la operación que se le presente en la pantalla, conforme va avanzando las operaciones son más complicadas. Cabe resaltar que los sujetos de prueba realizan la prueba tanto sin pulsos como con pulsos binaurales para poder tener datos de control y realizar la comparación. La página web presenta tres niveles de dificultad posibles: fácil, medio y difícil. Para este estudio se decidió utilizar el nivel medio debido a que se quería que el sujeto de prueba se concentrara lo más posible y pudiera avanzar en cada operación aritmética en un tiempo moderado.

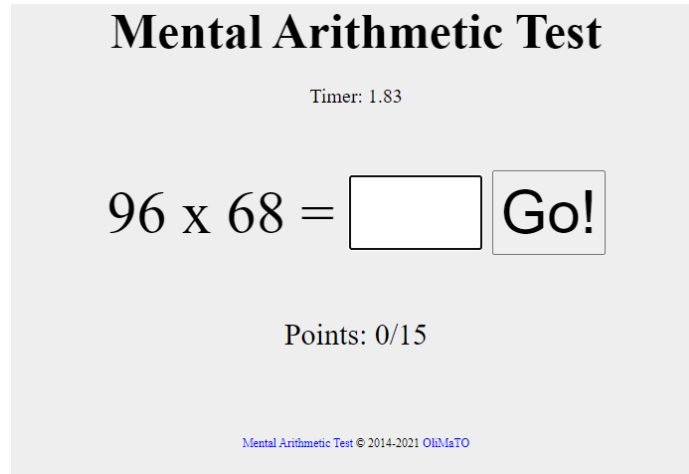


Figura 29: Ejemplo de pruebas aritméticas mentales [37].

La metodología de la prueba consiste en que el sujeto se encuentre relajado con los ojos abiertos durante un minuto, después el sujeto realiza las operaciones aritméticas durante tres minutos y, por último, se repite que el sujeto se encuentre relajado con los ojos abiertos durante un minuto. Se realizó de esta manera para poder comparar las señales EEG obtenidas antes, durante y después de la prueba. Para el estudio de estado de ánimo se aplicaron los pulsos binaurales en el último minuto de relajación después de realizada la prueba, mientras que para el estudio de concentración se aplican los pulsos binaurales durante la prueba aritmética. Esto para poder observar si hay algún cambio o impacto de los pulsos binaurales con respecto a los datos de control.

La segunda prueba realizada es la prueba de Toulouse-Pieron que se encuentra en la página web: metodorf.com [38], la cual consiste en identificar tres figuras a lo largo de una serie de elementos durante quince minutos como se observa en la Figura 30. Cabe destacar que la prueba va mostrando línea por línea de la prueba teniendo treinta segundos para identificar las figuras iguales seleccionando el cuadro superior, mientras que las que no son iguales se subrayan (selección del cuadro inferior). Esta prueba permite evaluar las aptitudes perceptivas y atencionales de un individuo mayor de 17 años y se realiza de manera individual.

Esta prueba se basa en dos factores principales, la velocidad de procesamiento (V) como se puede observar en la Ecuación (1) y la exactitud de procesamiento (K) como se puede observar en la Ecuación (2).

$$V = \frac{N}{c} \quad (1)$$

donde N es el número de caracteres procesados y c es el número de líneas totales de la prueba. En este caso, la prueba consta de 30 líneas.

$$K = \frac{N - A}{N} \quad (2)$$

donde A es el promedio de errores cometidos tomando en cuenta tanto los que se subrayan de manera incorrecta como los que son seleccionados de manera incorrecta.

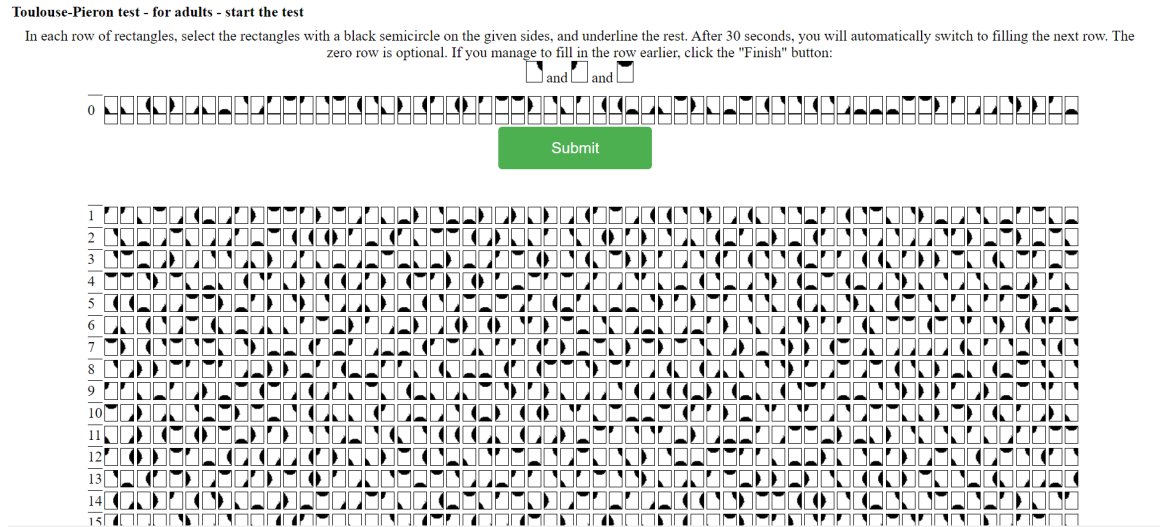


Figura 30: Ejemplo de prueba de Toulouse-Pieron [38].

El resultado de la prueba se mide por medio de una escala de concentración tomando en cuenta ambos índices antes mencionados. Esta prueba tiene cinco escalas comenzando como se observa en el Cuadro 5 en la cual se mide desde un nivel muy bajo de concentración hasta uno muy alto.

Índice	Grado				
	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Velocidad de procesamiento	0-12	13-22	23-31	32-47	>48
Exactitud de procesamiento	0.89 <	0.90-0.91	0.92-0.95	0.96-0.97	0.98-1

Cuadro 5: Valores generales de la prueba de Toulouse-Pieron [38].

Por último, como tercer método de validación para medir el impacto de los pulsos binaurales se decidió colocar una prueba libre en la que el sujeto realiza alguna actividad como tareas académicas, trabajo desde casa, o cualquier otra que requiera de concentración durante 15 minutos escuchando solamente ruido rosa como datos de control y durante otros 15 minutos con pulsos binaurales mezclados con ruido rosa. Durante esta prueba se utilizan los comentarios de retroalimentación realizados por los sujetos al momento de finalizar los 30 minutos de la actividad.

9.3.2. Pruebas para el estudio de estado de ánimo

Para el estudio del estado de ánimo se realizaron dos pruebas: una recopilación de videos y cuentos cortos para poder ver el impacto de la emoción en el sujeto de prueba con la presencia y ausencia de pulsos binaurales. Se recopiló un total de 5 videos de escenas de películas y series en los cuales predominan las emociones de tristeza, alegría y frustración. Además, se recopiló un total de 3 cuentos cortos de diversos autores en los cuales predominan las mismas emociones con el fin de poder realizar la comparación como se observa en el

Cuadro 6. Cabe destacar que esto se realizó al criterio personal y al criterio del investigador colaborador de este mismo estudio, por lo que, las emociones pueden variar en cada sujeto de prueba.

Emoción	Videos	Lecturas
Tristeza	Película: <i>Marley y yo</i> (escena de muerte de Marley) Película: <i>Up: una aventura de altura</i> (inicio de la película)	Relato: <i>La niña de los fósforos</i> por Hans Christian Andersen
Alegría	Película: <i>Norbit</i> (escena del tobogán) Serie: <i>Mini aventuras de Winnie the Pooh</i> (La gimnasia de Pooh)	Relato: <i>Giovanni y Andrea</i> por Roberto Fontanarrosa
Frustración	Serie: <i>Bob Esponja - Las crónicas del autobús</i>	Relato: <i>El ruiseñor y la rosa</i> por Oscar Wilde

Cuadro 6: Recopilación de videos y lecturas usados para el estudio de estado de ánimo.

La prueba consiste en recolectar datos del sujeto de prueba mientras observa el video para obtener los datos de control de la emoción que haya predominado. Se realiza una pausa de aproximadamente 15 minutos, con el fin de esperar a que el individuo regrese a un estado emocional neutral, y así no afectar las mediciones siguientes. Durante este tiempo, se realiza una breve entrevista para poder obtener la retroalimentación de la emoción predominante para ese sujeto de prueba. Estos comentarios también se analizan con el propósito de ver el impacto que tiene la ausencia y presencia de los pulsos binaurales de manera cualitativa. Después de haber finalizado ese tiempo, se prosigue a presentar otro video con otra emoción y se realiza el mismo procedimiento mencionado anteriormente.

Al finalizar de observar los videos, se prosigue a realizar la lectura de cuentos cortos con las mismas emociones predominantes, con la diferencia que ahora el sujeto tendrá los pulsos binaurales con ruido rosa mientras realiza la prueba. Esto con la finalidad de poder determinar si se tiene algún impacto en el estado de ánimo. De la misma manera que en la prueba anterior, se realiza una pausa de 15 minutos para poder permitirle al sujeto de prueba regresar a un estado emocional neutral. También se realiza una breve entrevista para obtener la mayor cantidad de retroalimentación posible. Se realiza el mismo procedimiento hasta haber realizado al menos una lectura de cada categoría/emoción.

9.3.3. Prueba para el estudio del sueño

Para el estudio del sueño la metodología consiste en la toma de datos de una noche en la cual no se reproducen los pulsos binaurales con el objetivo de poder recolectar los datos de control. Después se realiza la toma de datos de dos noches en las que sí se reproducen los pulsos. Se decidió realizar durante dos noches para reducir la posibilidad de factores externos que puedan afectar el resultado del estudio, es decir, que por algún motivo externo al estudio pueda presentar relajación o mayor cansancio, lo que induzca a un sueño profundo sin la necesidad de utilizar los pulsos binaurales.

Además, se realiza una recolección de datos cualitativos para determinar algunos factores

que pueden afectar el estado del sujeto de prueba y con ello su ciclo de sueño. Entre los datos recolectados se encuentran los hábitos de sueño, padecimientos que afecten su ciclo de sueño, así como factores como el uso de dispositivos electrónicos antes de dormir. También se realiza una breve entrevista en la cual se pueden obtener comentarios del impacto del uso de pulsos binaurales en la calidad del sueño de la persona.

9.4. Trabajo colaborativo

Para los estudios se llevó a cabo un trabajo colaborativo para tener otro método de validación para las pruebas experimentales con el objeto de enriquecer el estudio estadístico. El trabajo se denomina: “Aplicación de técnicas de aprendizaje automático y reconocimiento de patrones a señales bioeléctricas para el estudio del impacto de los pulsos binaurales en el estado de ánimo, concentración y calidad del sueño de las personas” en [39]. En el caso del estudio de concentración se realizó un clasificador para determinar si la persona estaba concentrada o desconcentrada. Para ello se implementó el algoritmo DBSCAN en Python usando las características relacionadas a las bandas alfa y beta estandarizados, ya que estas registran la actividad de concentración.

El procedimiento consiste en extraer los datos capturados durante las pruebas experimentales y aplicarles el algoritmo para predecir el estado de concentración. Se utilizó dicho algoritmo ya que es conocido por agrupar datos con formas variadas y discernir entre la presencia de ruido. En el caso del estudio del estado de ánimo, también se utilizó el mismo algoritmo. Cabe destacar que se dificultó la agrupación de las señales debido a que estas se encontraban más juntas entre si, a diferencia de las señales obtenidas en el estudio de concentración.

Por último, para el estudio del sueño se realizó un clasificador de etapas de sueño usando el algoritmo *Recursive Feature Elimination*. Este funciona mediante el entrenamiento del modelo con características específicas para definir la importancia dentro de la clasificación. El procedimiento consiste en extraer los datos de las noches de sueño y realizar el procesamiento de estos tomando en cuenta la frecuencia de muestreo de las señales extraídas. Finalmente, se utilizó el clasificador realizado para predecir el estado en el que se encontraba el sujeto de prueba.

Análisis cualitativo del impacto de los pulsos binaurales

En este capítulo se presentan los métodos utilizados para realizar la medición de las variables cualitativas para el estudio de concentración, de estado de ánimo, y del sueño. Cabe resaltar que se obtuvo una mayor cantidad de muestras para el estudio de concentración y estado de ánimo que para el estudio del sueño debido a los cambios realizados al equipo para dicho estudio. Entre las variables utilizadas para medir el cambio en el estado de ánimo durante las pruebas de concentración se tiene el nivel de relajación, estrés, enojo y disgusto, así como emociones predominantes antes y después de utilizar pulsos binaurales. Con las variables mencionadas se realizó un análisis cualitativo utilizando herramientas de Microsoft Excel como lo son las tablas dinámicas para la clasificación de datos según ciertas categorías.

Para las pruebas en el cambio del estado de ánimo con videos y lecturas se realizó un análisis utilizando los comentarios brindados por los sujetos, estos se presenta en el siguiente capítulo. De igual forma, para el estudio de concentración se presenta un análisis más exhaustivo con las pruebas realizadas en el próximo capítulo. Para el estudio del sueño se recolectaron posibles factores que pudieron afectar el estudio como lo son hábitos y/o problemas del sueño. En ambos estudios, se preguntó si los sujetos de prueba consideran que los pulsos binaurales tuvieron un impacto general con el fin de tener una percepción del sujeto de prueba. Cabe mencionar que se realizó un análisis tanto del impacto general como de la variabilidad en los niveles de cada categoría.

10.1. Métodos de validación para el análisis cualitativo

Para los estudios se elaboró un cuestionario en la plataforma de *Google Forms* con el fin de poder tener un método estandarizado con el cual medir el impacto según la perspectiva del individuo. En el caso de las pruebas de cambio en el estado de ánimo al realizar operaciones aritméticas se utilizaron dos cuestionarios, uno para medir el efecto antes y otro para después

de utilizar el generador de pulsos binaurales. Para llevar a cabo la sección de estado de ánimo se tomó como guía la “Escala Breve de Introspección del Estado de Ánimo” conocido por sus siglas en inglés BMIS [40]. Este examen estandarizado brinda diversos adjetivos que describen el estado de ánimo actual de la persona en una escala de cuatro niveles. Para el cuestionario se decidió medir el nivel de relajación, estrés, enojo y disgusto colocando una escala de cinco niveles para brindarle al individuo una opción neutra como se observa en la Figura 31. Además, se le preguntó al individuo, tomando en cuenta los adjetivos descritos en el examen, las emociones que predominan antes y después del experimento, si las hubiera.

Nivel de Estado de Ánimo. Marque la opción que más se ajuste a cómo se siente en las siguientes categorías:

	1. Muy bajo	2. Bajo	3. Medio	4. Alto	5. Muy alto
Nivel de relajación	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nivel de estrés	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nivel de enojo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nivel de disgusto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 31: Primera sección del estudio de estado de ánimo.

En el caso de las secciones para el estudio de concentración y del sueño, se preguntó la percepción general de los pulsos binaurales, la preferencia en la intensidad del pulso, y si, según su perspectiva, tuvo algún efecto en su nivel de concentración o en su calidad del sueño, dependiendo del estudio realizado. Cabe mencionar que este no fue el único método para la validación del impacto de los pulsos binaurales, en el siguiente capítulo se explican los resultados cuantitativos de la investigación con las pruebas mencionadas en la sección 9.3. También se le brindó un espacio para comentarios adicionales, con el fin de tener la mayor cantidad de retroalimentación posible.

En el caso del estudio del sueño, como se mencionó en la sección 9.3.3 también se realizaron preguntas para conocer los hábitos del individuo y factores externos que puedan afectar el estudio en particular. Entre estos factores se encuentran: la existencia de padecimientos del sueño, cantidad de horas que duerme, ambiente silencioso, oscuro y relajante, entre otros. También se le brindó un espacio para comentarios, por si cree que existe otro factor no especificado anteriormente que pueda afectar dentro del estudio.

Cabe mencionar que para los estudios se tomó en cuenta que los sujetos cuenten con la mayoría de edad sin pertenecer a la tercera edad. Esto es principalmente para el estudio del sueño, ya que las personas de la tercera edad tienden a presentar mayor probabilidad de sufrir anomalías en el sueño. Además, los sujetos no deben sufrir de ninguna enfermedad mental, esto debido a que puede presentar anormalidad en el EEG, teniendo información que pudiera afectar la clasificación de los datos.

10.2. Resultados de las pruebas usando pulsos binaurales sin ruido rosa

Los resultados que se presentan a continuación son los relacionados a los cambios en el estado de ánimo de los sujetos durante las pruebas de concentración usando pulsos binaurales mezclados con la pista moduladora (sin ruido rosa). Para el estudio del sueño solamente se utilizaron las rutinas de los ciclos del sueño en la presencia de pulsos binaurales con la pista moduladora, debido a que por la extensión de las pruebas se decidió concentrar todos los sujetos a las mismas condiciones con el fin de tener la mayor cantidad posible de datos.

Como se puede observar en el Cuadro 7, se obtuvo un total de 41 pruebas para el estudio completo, siendo 18 para el estudio de concentración, 18 para el estudio de estado de ánimo y de 5 para el estudio del sueño. Cabe mencionar que no se realizaron pruebas con pulsos binaurales sin ruido rosa para la actividad libre de concentración ni para los videos y lecturas. Por lo que, los resultados presentados son solamente los obtenidos durante las pruebas de concentración de razonamiento aritmético y la prueba de Toulouse-Pieron.

Estudio	Prueba	Cantidad	Total
Concentración	Razonamiento aritmético	11	18
	Toulouse-Pieron	7	
	Actividad libre	0	
Estado de ánimo	Cambio durante pruebas de concentración	18	18
	Videos y lecturas	0	
Sueño		5	5
Total			41

Cuadro 7: Cantidad de pruebas realizadas de cada estudio usando pulsos binaurales sin ruido rosa.

10.2.1. Resultados del impacto en el nivel de concentración y estado de ánimo

Para este estudio se tuvo un total de 18 sujetos que cumplían con los requisitos y estuvieron de acuerdo con lo mencionado en el consentimiento informado. Como se observa en la Figura 32 se tuvo un 61 % de participación del género masculino y un 39 % femenino. Además, como se observa en la Figura 33 se tuvo una gran mayoría en el rango de 18 a 24 años, debido a que la mayoría de pruebas fueron realizadas dentro de la Universidad del Valle de Guatemala. Sin embargo, se presentan datos dentro del rango de 25 a 34 años y de 45 a 54 años, para verificar el impacto en diversos rangos.

Género

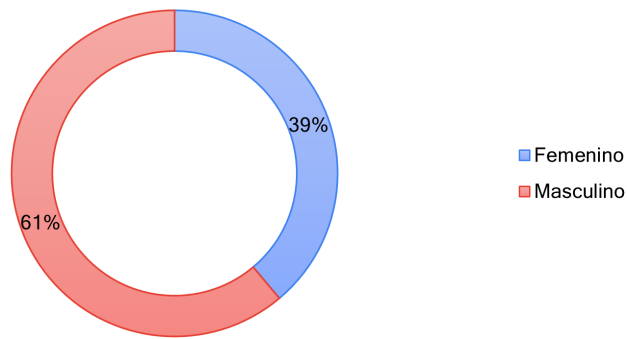


Figura 32: Género de los sujetos del estudio de concentración y estado de ánimo con pulsos binaurales sin ruido rosa.

Edad

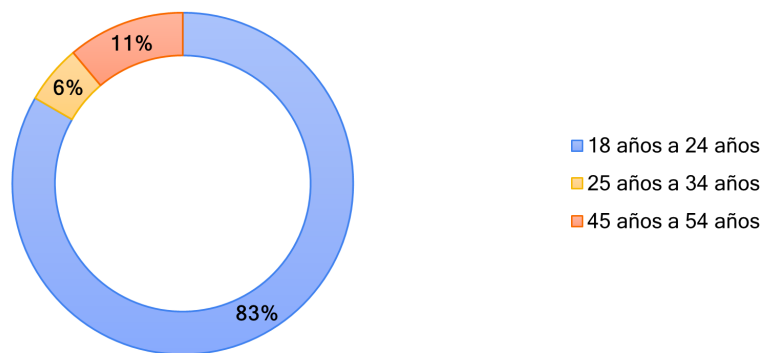


Figura 33: Edad de los sujetos del estudio de concentración y estado de ánimo con pulsos binaurales sin ruido rosa.

Como se mencionó anteriormente, para medir el impacto en el estado de ánimo se tomó el mismo cuestionario antes y después de realizar las pruebas con pulsos binaurales. Como se observa en la Figura 31, las categorías principales fueron el nivel de relajación, estrés, enojo y disgusto. Los resultados mostraron un mayor impacto en el nivel de relajación y estrés. En el caso del nivel de relajación, se puede observar en la Figura 34 que antes de realizar la prueba el nivel de relajación se encontraba entre bajo, medio y alto. Después de realizar la prueba se presentó un aumento en el nivel medio, disminuyendo la cantidad de sujetos que se encontraban en los niveles extremos. En el caso del nivel de estrés, se puede observar en la Figura 35 que existe una mayor tendencia a la disminución del mismo con pulsos binaurales. A pesar de esto, se observa que antes de llevar a cabo la prueba se encontraban los sujetos entre un nivel muy bajo a alto de estrés, mientras que después se encontraban de bajo a muy alto. Esto indica que para varios sujetos tuvo un impacto negativo en el nivel de estrés.

En las categorías de enojo y disgusto, un 66.67 % de los sujetos no presentaron un cambio en sus niveles correspondientes. En ambos casos se observó que en su mayoría los sujetos tenían un nivel muy bajo. Sin embargo, también se tuvo sujetos con nivel alto y muy alto. Esto indica que los pulsos binaurales en su mayoría no genera algún impacto significativo en el estado de enojo y disgusto.

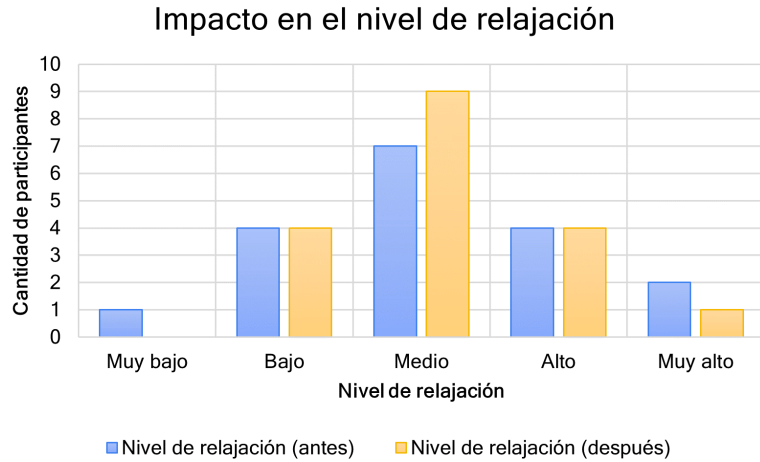


Figura 34: Impacto en el nivel de relajación antes y después de utilizar pulsos binaurales sin ruido rosa.

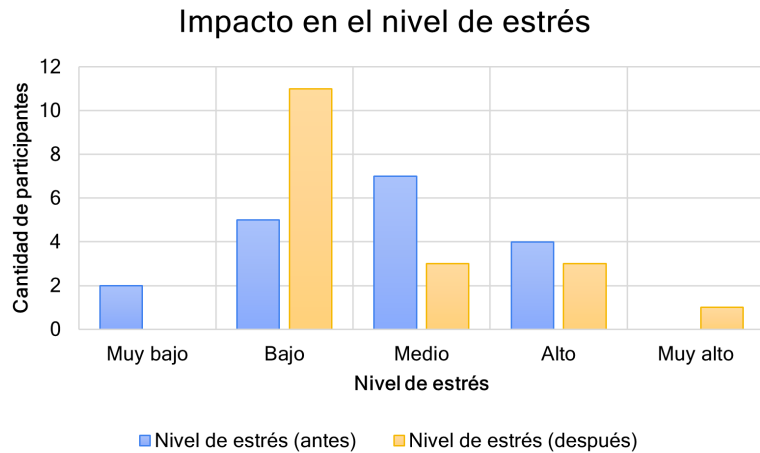


Figura 35: Impacto en el nivel de estrés antes y después de utilizar pulsos binaurales sin ruido rosa.

Para determinar la variabilidad de impacto en los niveles de relajación y estrés, se realizó una tabulación de los datos tomando en cuenta si estos incrementaron, decrementaron o no presentaron cambio. Como se observa en la Figura 36, se presentó tanto un decremento como incremento en el nivel de relajación, teniendo una tendencia a decrementar. Se observó que los sujetos, en su mayoría, decrementaban un nivel en la escala de relajación o presentaban un incremento de dos niveles.

Variabilidad en el nivel de relajación

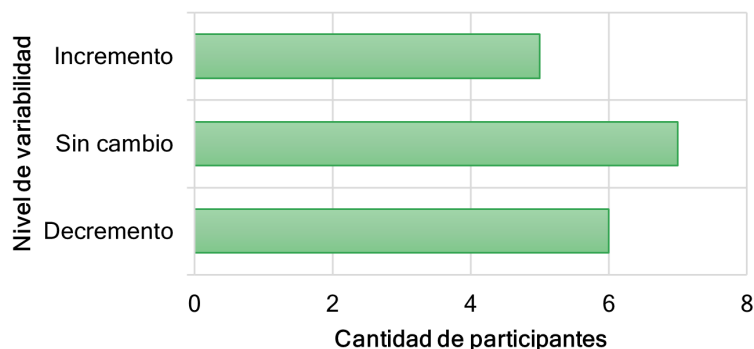


Figura 36: Variabilidad en el nivel de relajación antes y después de utilizar pulsos binaurales sin ruido rosa.

Como se observa en la Figura 37, se presentó también una tendencia a decrementar. En este caso se observó una tendencia a decrementar un nivel en la escala de estrés o incrementar un nivel en la escala. Esto indica que, en general, los pulsos binaurales tienen un impacto positivo, ya que disminuyen el nivel de estrés e incrementan al doble el nivel de relajación.

Variabilidad en el nivel de estrés

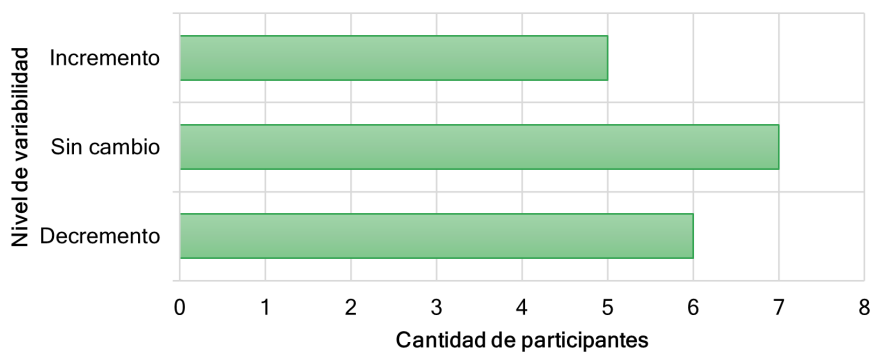


Figura 37: Variabilidad en el nivel de estrés antes y después de utilizar pulsos binaurales sin ruido rosa.

También se le preguntó al sujeto que indicara las emociones que predominan antes y durante la prueba con los pulsos binaurales. Este consiste en un conteo de las personas que colocaron solamente la emoción antes, durante o en ambas ocasiones, es decir, si los sujetos de prueba colocaron ansiedad tanto antes como después solo se contabilizó en la categoría de ambos. Se realizó de esa manera para verificar cuáles eran las emociones que presentaban un menor o mayor impacto.

Como se puede observar en el Cuadro 8, antes de la prueba predominó la alegría, siguiendo por aburrimiento, ansiedad, y emoción. Se puede observar una tendencia a emo-

ciones positivas. Por otro lado, después de realizar la prueba se observó que predominó la ansiedad así como la emoción, siguiendo con angustia. Esto puede relacionarse con el porqué del decremento en el nivel de relajación de la persona, así como en el incremento del nivel de estrés. También se puede observar que las tres emociones que predominaron tanto antes como después fueron la ansiedad, angustia y emoción, es decir, no presentó cambio significativo en estas categorías.

Emoción	Antes	Durante	Ambos
Ansiedad	4	6	6
Angustia	1	4	3
Aburrimiento	4	1	2
Emoción	4	1	4
Alegría	5	0	1
Tristeza	0	0	0
Ninguna	2	3	0

Cuadro 8: Emociones que predominaron antes, durante o en ambas ocasiones de la prueba con pulsos binaurales.

En tanto a la percepción general de los pulsos binaurales, como se observa en la Figura 38 se tuvo un 78 % de percepción positiva, ya que el sonido fue agradable para los sujetos. Por lo que, la mezcla entre la pista moduladora y el pulso binaural si cumplió con el objetivo de evitar un sonido tedioso para el sujeto de prueba.

Percepción general de los pulsos binaurales

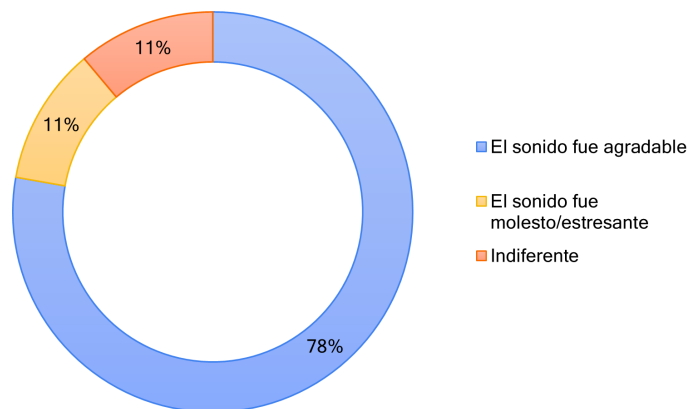


Figura 38: Percepción general de los pulsos binaurales sin ruido rosa.

Por otro lado, para la preferencia en la intensidad de pulso se determinó un volumen alto mayor a 65 %, un volumen medio entre 35 % y 65 %, y un volumen tenue menor a 35 %. Cabe mencionar que el volumen mínimo fue de 10 %, para asegurar que el participante si estuviera escuchando las frecuencias centrales del pulso binaural. Como se puede observar

en la Figura 39, la mayoría de los sujetos prefiere un volumen de medio a tenue.

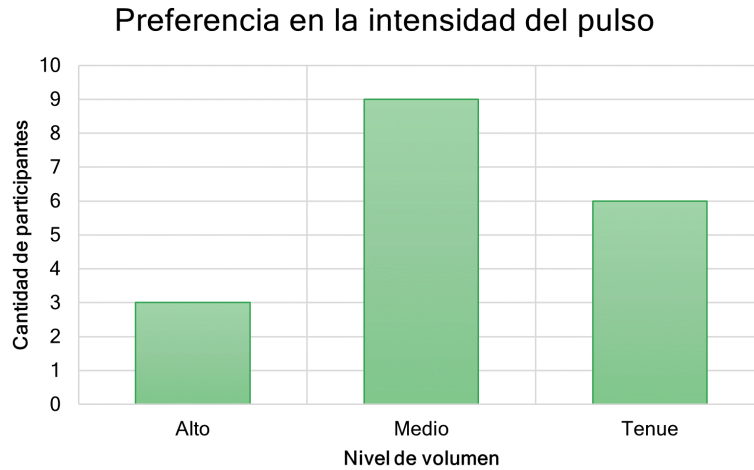


Figura 39: Preferencia en la intensidad del pulso binaural sin ruido rosa.

Finalmente, para determinar el impacto general en el nivel de concentración y estado de ánimo se preguntó en el cuestionario la percepción de la persona según una escala del 1 al 5, siendo 1 que no está de acuerdo con que los pulsos binaurales generó un impacto y 5 que está totalmente de acuerdo con que sí generó un impacto. Como se puede observar en la Figura 40 se tuvo un 56 % de impacto significativo en el nivel de concentración. En tanto al impacto en el estado de ánimo, como se observa en la Figura 41 se tuvo un 61 % de impacto significativo. Cabe destacar que se tomó como impacto leve la opción 1 y 2, impacto moderado la opción 3 e impacto significativo la opción 4 y 5.

Impacto en el nivel de concentración

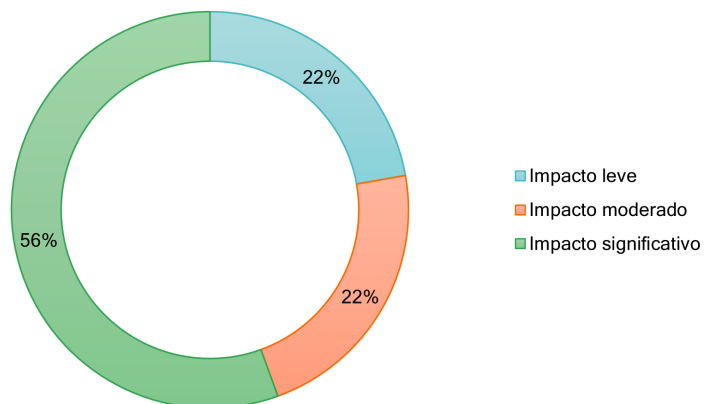


Figura 40: Impacto general en el nivel de concentración con pulsos binaurales sin ruido rosa.

Impacto en el estado de ánimo

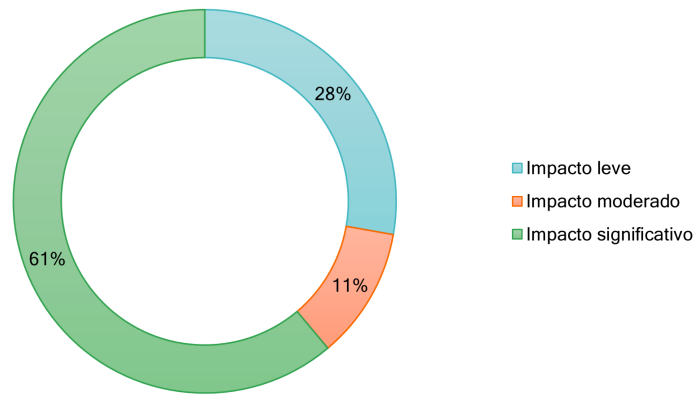


Figura 41: Impacto general en el estado de ánimo con pulsos binaurales sin ruido rosa.

10.2.2. Resultados del impacto en la calidad del sueño

Para este estudio se obtuvo un total de 5 sujetos de prueba que cumplieran con los requisitos de ser mayores de edad y no presentar ninguna enfermedad mental, además estuvieron de acuerdo con lo mencionado en el consentimiento informado. Como se observa en la Figura 42 se tuvo una participación de 60% del género femenino y de 40% masculino. El rango de edad principal fue de 18 a 24 años, así como de 45 a 54 años.

Género

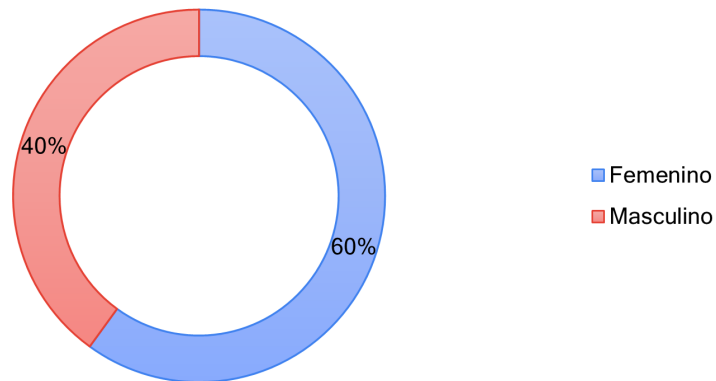


Figura 42: Género de los sujetos del estudio del sueño.

Edad

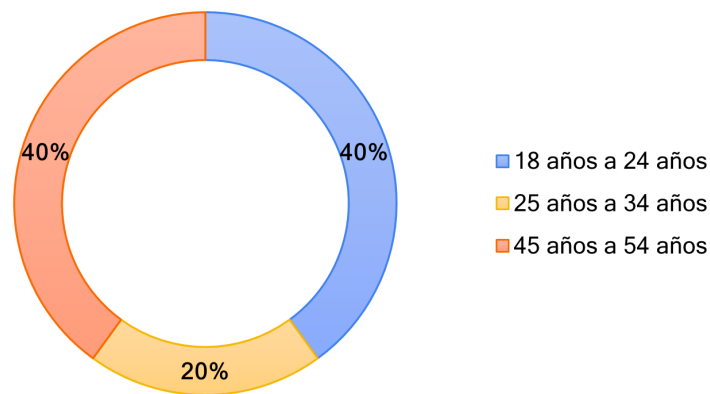


Figura 43: Edad de los sujetos del estudio del sueño.

Como se mencionó en la sección 9.3.3 se recopiló la información de los hábitos generales de sueño de cada sujeto de prueba con el fin de poder observar posibles factores que afecten el estudio. Todos los sujetos mencionaron que no tienen algún padecimiento del sueño y que se duermen y despiertan a la misma hora todos los días, incluidos fines de semana. Como se puede observar en la Figura 44 la mayoría de sujetos duerme generalmente entre 4 a 6 horas. Sin embargo, solo un sujeto de prueba mencionó dormir más de 7 horas. Las horas de sueño pueden afectar en la forma en que los pulsos binaurales impactan al individuo debido a que la rutina ideal está contemplada para un total de 8 horas y media de sueño.

Cantidad de horas de sueño regulares

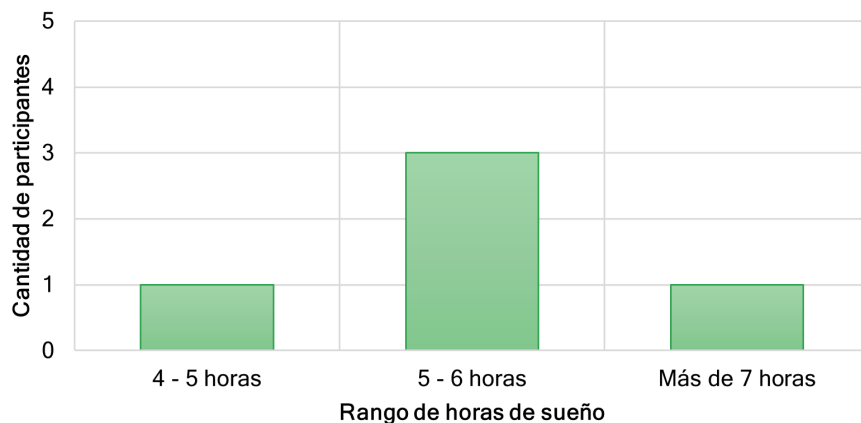


Figura 44: Cantidad de horas de sueño regulares en sujetos de prueba.

En tanto a sus hábitos al momento de dormir, se preguntó utilizando una escala del 1 al 5, siendo 1 la opción de “Nunca” y 5 la opción “Muy frecuentemente”. Como se puede observar en la Figura 45 se obtuvo que la mayoría de sujetos mantiene durante sus horas

de sueño una habitación con un ambiente silencioso, oscuro y relajante. Por otro lado, se puede observar en la Figura 46 que la mayoría de participantes no utiliza, generalmente, dispositivos electrónicos una hora antes de ir a dormir. Por último, se observa en la Figura 47 que la mayoría de participantes no consume, generalmente, comidas abundantes, cafeína y/o alcohol antes de dormir.

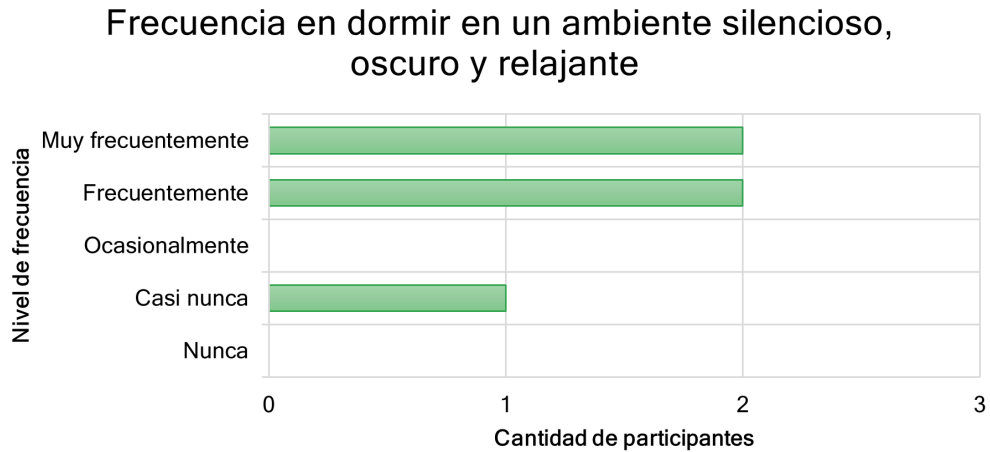


Figura 45: Frecuencia en mantener generalmente un ambiente silencioso, oscuro y relajante al dormir.

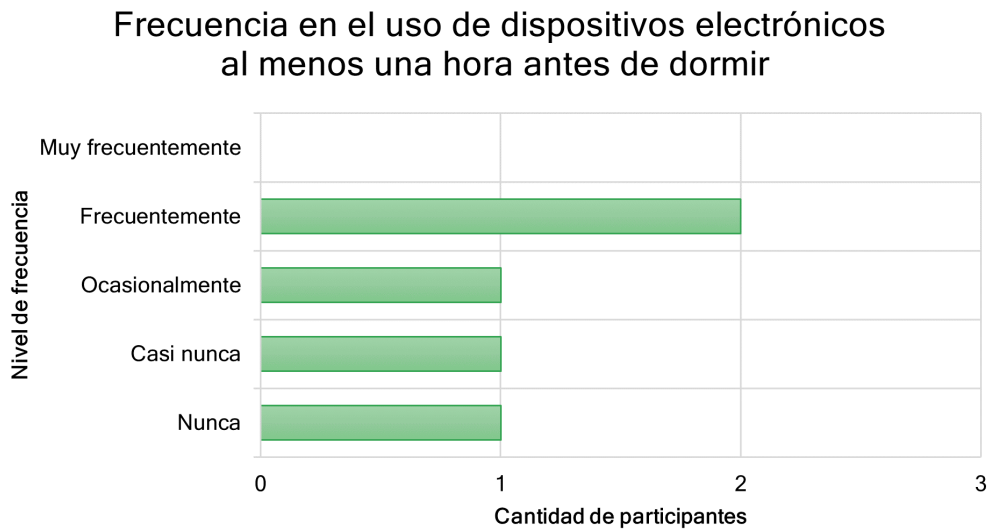


Figura 46: Frecuencia en el uso de dispositivos electrónicos al menos una hora antes de dormir.

Frecuencia en el consumo de comidas abundantes, cafeína y/o alcohol antes de dormir

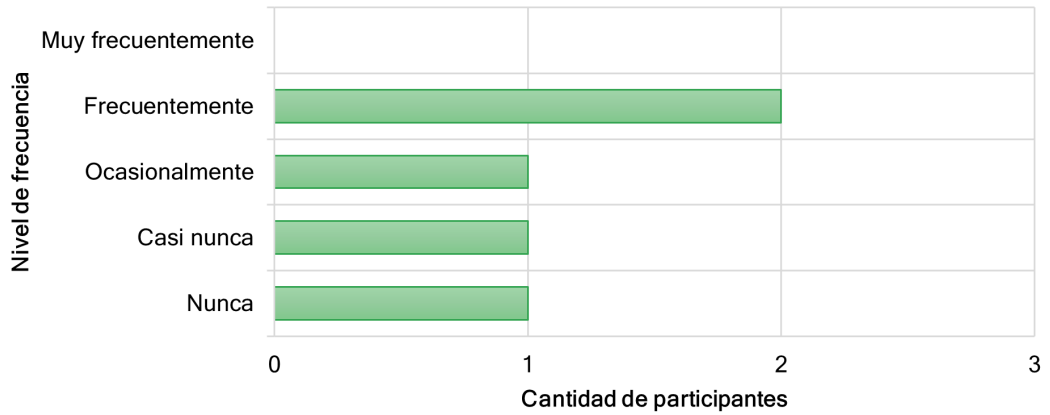


Figura 47: Frecuencia en el consumo de comidas abundantes, cafeína y/o alcohol antes de dormir.

En tanto a los resultados relacionados con el uso de pulsos binaurales se puede observar en la Figura 48 que la mayoría de sujetos indicó que su percepción general de los pulsos fue que el sonido fue agradable. En relación a la intensidad del pulso, se puede observar en la Figura 49 que se tuvo una preferencia hacia un volumen de medio a tenue. Esto puede deberse a que al dormir se espera un ambiente silencioso.

Percepción general de los pulsos binaurales

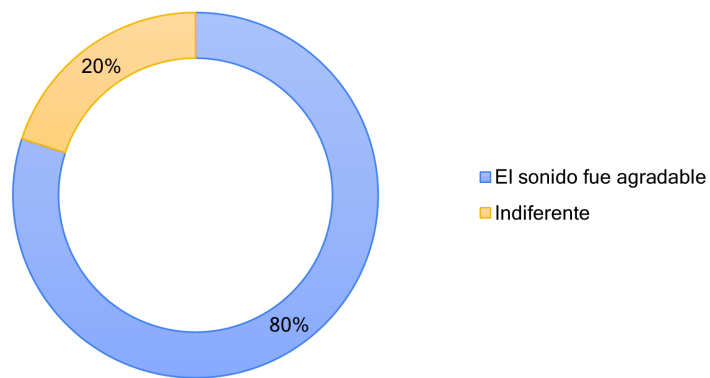


Figura 48: Percepción general de los pulsos binaurales en el estudio del sueño.

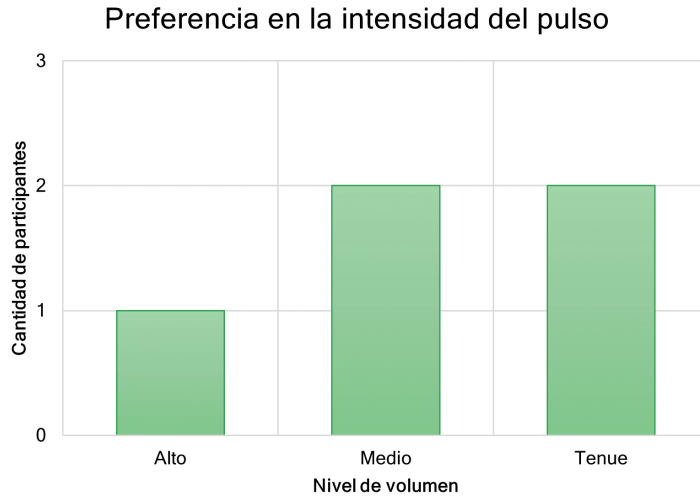


Figura 49: Preferencia en la intensidad del pulso en el estudio del sueño.

Por otro lado, se puede observar en la Figura 50 que el 80 % de los sujetos indicaron que tuvo un impacto significativo en su estado de relajación, es decir, se sintieron al despertar más descansados a comparación de cuando no usaron pulsos binaurales. En tanto al impacto en el tiempo que tarda el sujeto usualmente para conciliar el sueño se puede observar en la Figura 51 que para la mayoría de sujetos tuvo un impacto significativo, es decir, se tuvo un menor tiempo para lograr conciliar el sueño al momento de usar los pulsos binaurales.

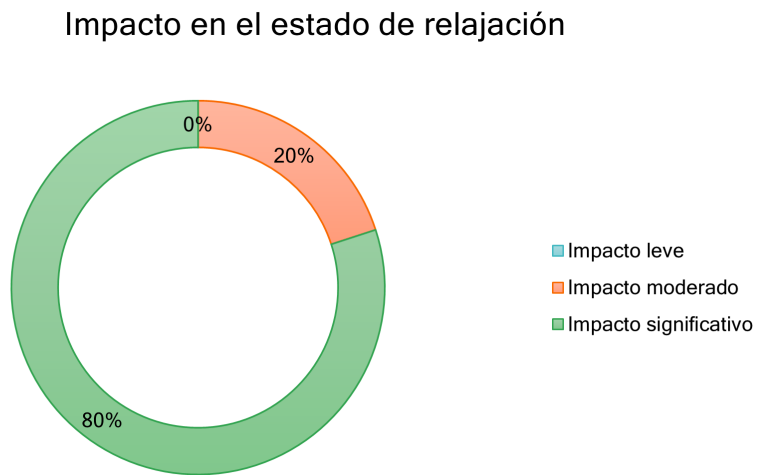


Figura 50: Impacto del uso de pulsos binaurales en el estado de relajación de los sujetos de prueba.

Impacto en el tiempo para conciliar el sueño

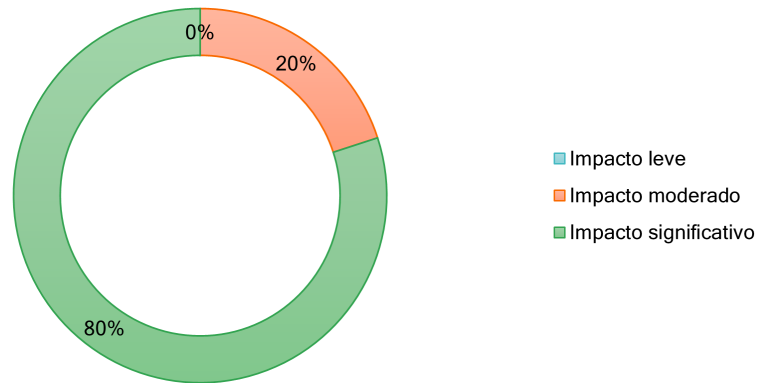


Figura 51: Impacto del uso de pulsos binaurales en el tiempo de conciliación del sueño.

Por último, se puede observar en la Figura 52 que la mayoría de sujetos remarcó que los pulsos binaurales tuvieron un efecto significativo en su calidad del sueño, solamente un sujeto de prueba mencionó un impacto leve. En tanto al impacto en el sueño como tal, se puede observar en la Figura 53 que la mayoría de participantes mencionó que los sonidos ayudaron a dormir. Nuevamente, solo un sujeto de prueba mencionó que no tuvo efecto alguno. Por lo que, se puede observar una tendencia a que el uso de pulsos binaurales tiene un impacto positivo en el sueño de las personas.

Impacto en la calidad del sueño

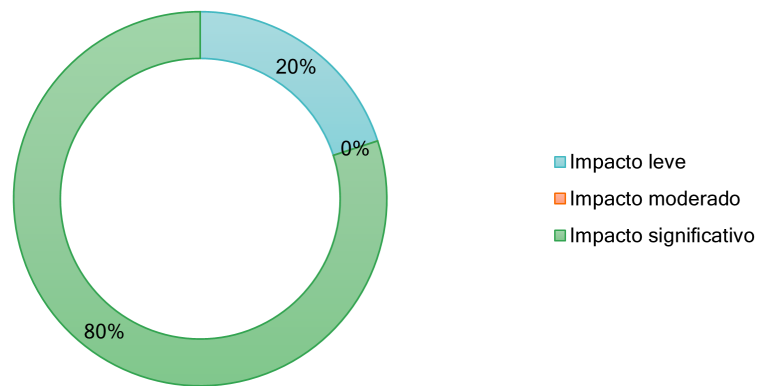


Figura 52: Impacto del uso de pulsos binaurales en la calidad del sueño.

Impacto del uso de pulsos binaurales en el sueño

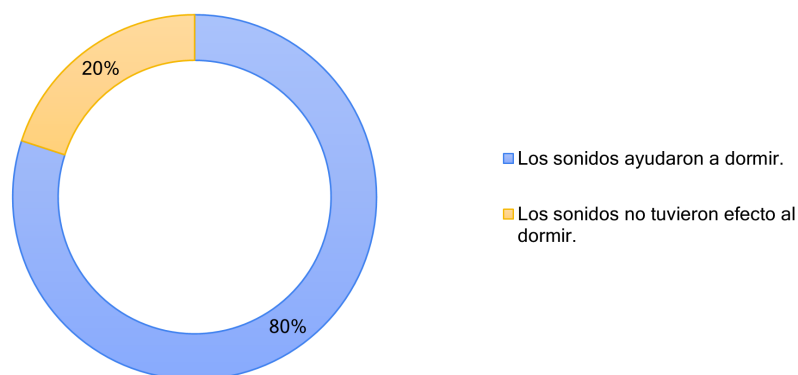


Figura 53: Impacto del uso de pulsos binaurales en el sueño.

10.3. Resultados de las pruebas usando pulsos binaurales con ruido rosa

Los resultados que se muestran a continuación son los relacionados a los cambios en el estado de ánimo de los sujetos durante las pruebas de concentración de razonamiento aritmético usando pulsos binaurales mezclados con ruido rosa. Cabe mencionar que la prueba de control se hace escuchando ruido rosa, es decir, el sujeto durante toda la prueba escucha ruido rosa, pero en una está mezclada con los pulsos binaurales. Además, se realizó el estudio con los datos obtenidos de los videos y lecturas. También se realizaron más pruebas de concentración usando ruido rosa y el análisis completo se muestra en el siguiente capítulo. En tanto al estudio del sueño no se realizó alguna prueba de pulsos binaurales con ruido rosa.

Estudio	Prueba	Cantidad	Total
Concentración	Razonamiento aritmético	5	11
	Toulouse-Pieron	0	
	Actividad libre	6	
Estado de ánimo	Cambio durante pruebas de concentración	5	14
	Videos y lecturas	9	
Sueño		0	0
Total			25

Cuadro 9: Cantidad de pruebas realizadas de cada estudio usando pulsos binaurales con ruido rosa.

Como se puede observar en el Cuadro 9, se obtuvo un total de 25 pruebas para el estudio

completo, siendo 11 para el estudio de concentración y 14 para el estudio de estado de ánimo. Cabe mencionar que no se realizaron pruebas de pulsos binaurales con ruido rosa para la prueba de Toulouse-Pieron.

10.3.1. Resultados del impacto en el nivel de concentración y estado de ánimo

Para este estudio se tuvo un total de 5 sujetos que cumplían con los requisitos y estuvieron de acuerdo con lo mencionado en el consentimiento informado. Como se observa en la Figura 54 se tuvo un 20 % de participación del género masculino y un 80 % femenino. En tanto a la edad de los sujetos, como se observa en la Figura 55 se tuvo una gran mayoría en el rango de 25 años a 34 años, así como de 45 a 54 años.

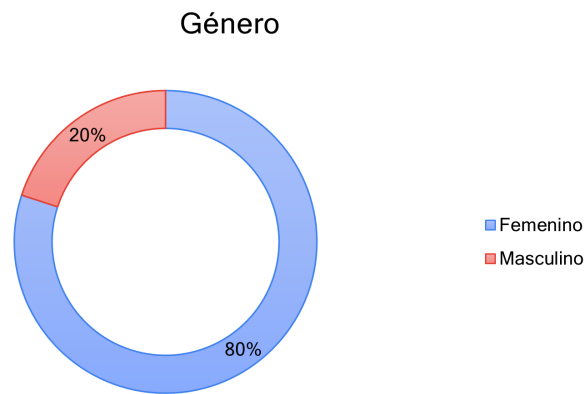


Figura 54: Género de los sujetos del estudio de concentración y estado de ánimo con pulsos binaurales con ruido rosa.

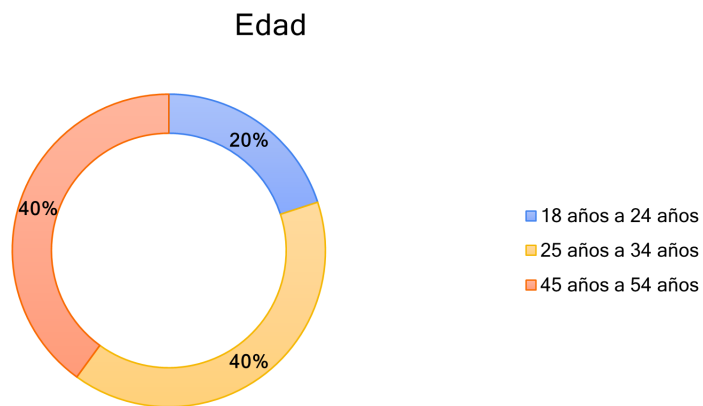


Figura 55: Edad de los sujetos del estudio de concentración y estado de ánimo con pulsos binaurales con ruido rosa.

En cuanto a los resultados relacionados con el impacto en el estado de ánimo, como se mencionó anteriormente se encontraban cuatro categorías: relajación, estrés, enojo y dis-

gusto. En el caso del nivel de relajación, se puede observar en la Figura 56 que antes de realizar la prueba el nivel de relajación se encontraba en bajo o alto. Después de realizar la prueba se presentó un aumento en el nivel medio, alto y muy alto. En el caso del nivel de estrés, se puede observar en la Figura 57 que antes de realizar la prueba se encontraban los sujetos entre un nivel muy bajo a medio de estrés, mientras que después se encontraban en su mayoría en un nivel bajo. Esto indica que se tuvo una disminución notable en el nivel de estrés.

En la categoría de enojo, se puede observar en la Figura 58 que antes de realizar la prueba se encontraban en un nivel muy bajo y bajo, pero después incrementó el nivel de enojo llegando hasta el nivel alto. Por lo que, tuvo un efecto negativo en el sujeto de prueba. En cuanto a la categoría de disgusto, un 80 % de los sujetos no presentaron un cambio en sus niveles correspondientes, manteniéndose en los niveles bajo y muy bajo tanto antes como después de la prueba.

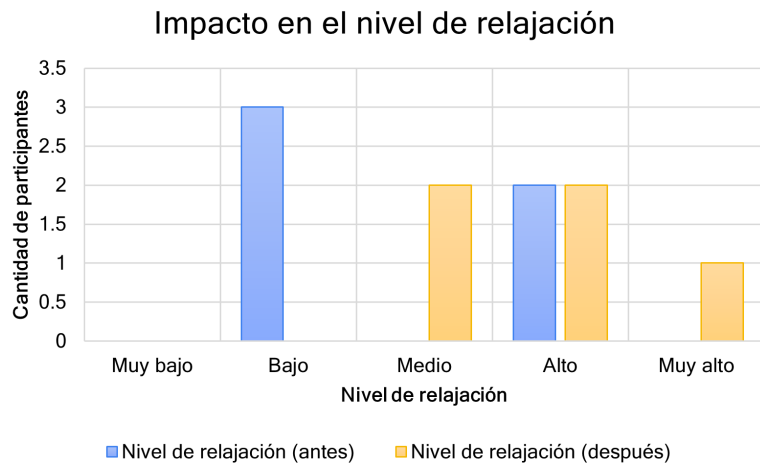


Figura 56: Impacto en el nivel de relajación antes y después de utilizar pulsos binaurales con ruido rosa.

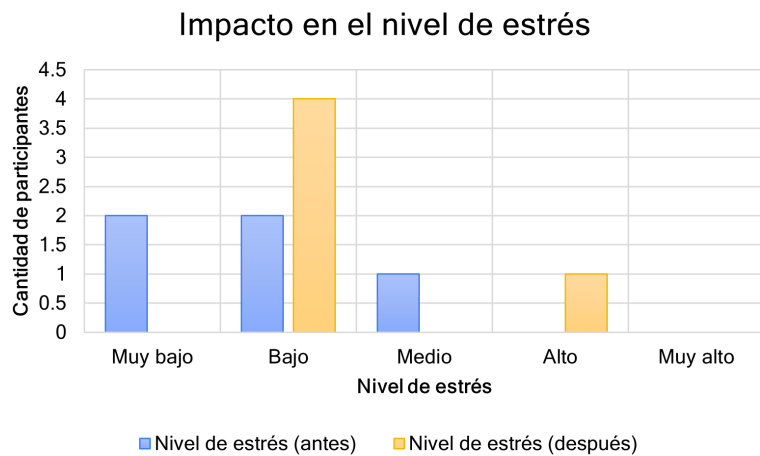


Figura 57: Impacto en el nivel de estrés antes y después de utilizar pulsos binaurales con ruido rosa.

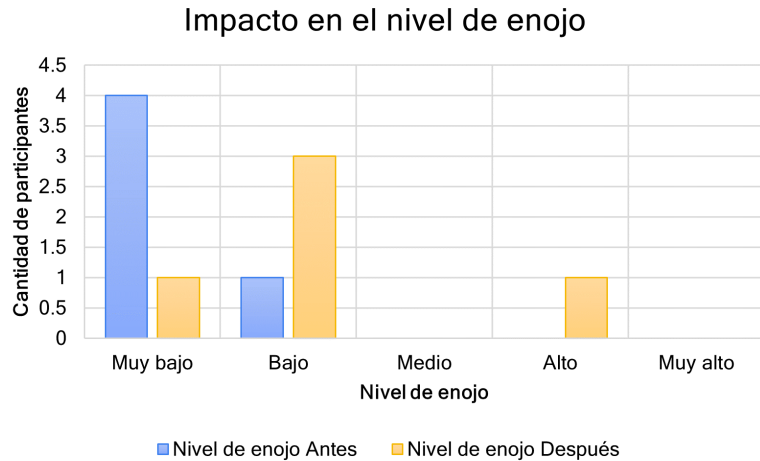


Figura 58: Impacto en el nivel de enojo antes y después de utilizar pulsos binaurales con ruido rosa.

Por otro lado, la variabilidad de impacto en los niveles de relajación se observa en la Figura 59, la cual muestra que la mayoría de sujetos incrementó su nivel de relajación. Se observó que los sujetos incrementaban en 1, 2 o incluso 3 niveles por encima de cómo comenzaron la prueba. En el caso de la variabilidad en el nivel de estrés como se observa en la Figura 60, se presentó también una tendencia a incrementar. En este caso se observó que los sujetos incrementaban o decrementaban un nivel en la escala. En el caso de la variabilidad del nivel de enojo, los sujetos presentaban un incremento de un nivel en la escala o no presentaban ningún cambio.

Variabilidad en el nivel de relajación

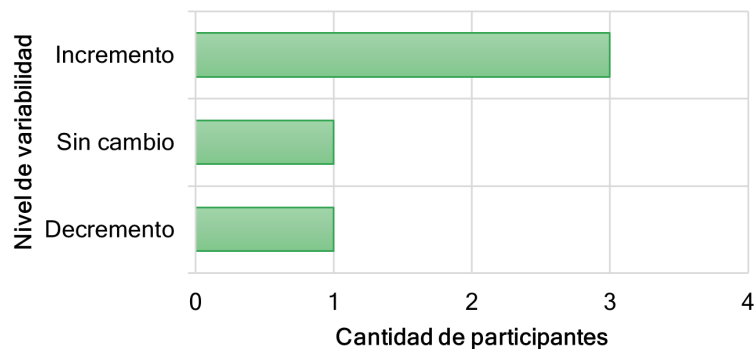


Figura 59: Variabilidad en el nivel de relajación antes y después de utilizar pulsos binaurales con ruido rosa.

En relación con las emociones que predominaban se observó que antes de la prueba predominó el aburrimiento, mientras que durante la prueba predominó el estado de emoción. Esto puede relacionarse con el porqué del incremento en el nivel de relajación de la persona. También se pudo observar que las tres emociones que predominaron tanto antes como después fueron el aburrimiento y la ansiedad.

Variabilidad en el nivel de estrés

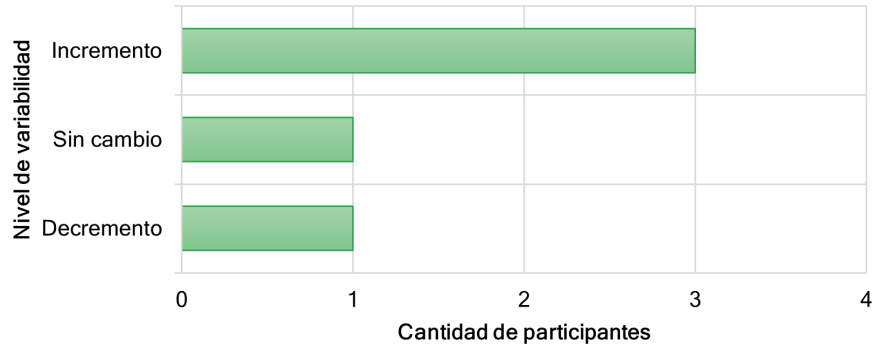


Figura 60: Variabilidad en el nivel de estrés antes y después de utilizar pulsos binaurales con ruido rosa.

En tanto a la percepción general de los pulsos binaurales, como se observa en la Figura 61 se tuvo un 80 % de percepción positiva, ya que el sonido fue agradable para los sujetos. Por lo que, la mezcla entre el ruido rosa y el pulso binaural también cumplió con el objetivo de evitar un sonido tedioso para el sujeto de prueba. Sin embargo, un sujeto de prueba remarcó que el sonido fue molesto y estresante. En el caso de la preferencia en la intensidad de pulso, todos los sujetos prefieren un volumen medio.

Percepción general de los pulsos binaurales

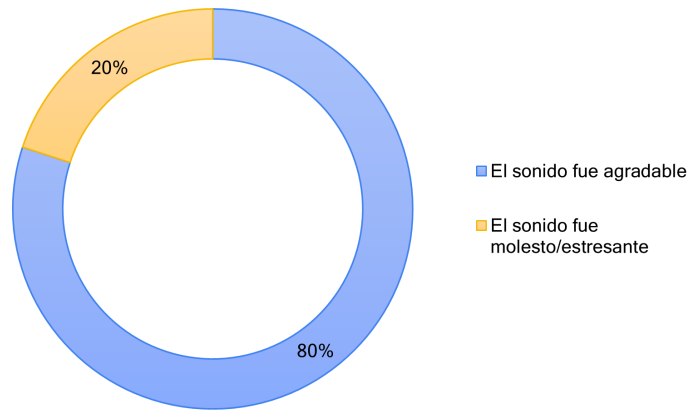


Figura 61: Percepción general de los pulsos binaurales con ruido rosa.

Finalmente, los sujetos de prueba remarcaron que el impacto general en el nivel de concentración fue significativo, es decir, todos consideran que sí les ayudó para mejorar el nivel de concentración. En tanto al impacto en el estado de ánimo, como se observa en la Figura 41 se tuvo un 80 % de impacto significativo. Por lo que, en general se tuvo un impacto positivo tanto para el nivel de concentración como para el del estado de ánimo.

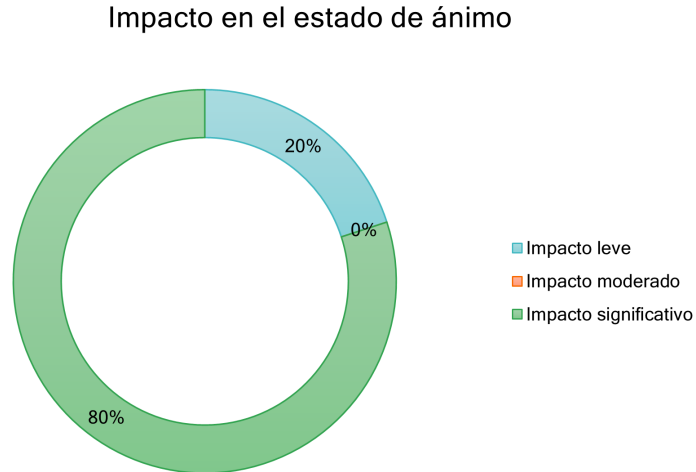


Figura 62: Impacto general en el estado de ánimo con pulsos binaurales con ruido rosa.

10.4. Discusión de resultados

En esta sección se muestra el análisis de los resultados cualitativos obtenidos en el estudio de concentración y estado de ánimo usando pulsos binaurales con o sin ruido rosa. En el caso del estudio del sueño solamente se pudo realizar pruebas de pulsos binaurales sin ruido rosa, por lo que para estos datos no se está realizando la comparación. Cabe destacar que es un análisis preliminar, ya que se tuvo mayor cantidad de sujetos de prueba en el uso de pulsos binaurales sin ruido rosa, por lo que se están observando y remarcando posibles tendencias con base a lo obtenido hasta el momento.

En el caso del estudio relacionado con el estado de ánimo, se observó que en el caso del uso de pulsos binaurales sin ruido rosa hubo una tendencia a decrementar el nivel de relajación (ver Figura 34), aunque los que incrementaron fueron usualmente por dos niveles de su estado anterior. No obstante, el nivel de relajación con pulsos binaurales con ruido rosa mostró una tendencia a incrementar el nivel de relajación en 1, 2 o hasta 3 niveles de su estado anterior (ver Figura 56). En el caso de las emociones predominantes durante las pruebas se observó que los pulsos sin ruido rosa mantuvieron un estado de ansiedad y angustia a los sujetos, mientras que los pulsos con ruido rosa mantuvieron un estado de emoción en el sujeto.

El uso de pulsos binaurales con ruido rosa mostró una tendencia a incrementar emociones negativas. En el nivel de estrés en el caso del uso de pulsos binaurales sin ruido rosa hubo una tendencia a decrementar por un nivel en la escala (ver Figura 35), por el contrario que con ruido rosa, que hubo un incremento de un nivel en la escala (ver Figura 57). Además, en el nivel de enojo usando pulsos sin ruido rosa la mayoría de los sujetos de prueba no presentaron cambio en su estado anterior quedando en niveles bajos. Sin embargo, al usar pulsos con ruido rosa se observó que el nivel de enojo incrementó llegando hasta el nivel alto (ver Figura 58).

La percepción general de los pulsos binaurales en ambos casos fue positiva, siendo un sonido agradable para el sujeto de prueba, por lo que tanto sin ruido rosa como con ruido rosa cumple el objetivo de no ser molesto para el individuo. También en el caso de la preferencia en la intensidad, en ambos casos se mencionó que el mejor nivel de volumen es medio, es decir, entre 35 % y 65 %.

En el caso del impacto en el nivel de concentración, los resultados del uso de pulsos binaurales con o sin ruido rosa indican que sí se tuvo un impacto significativo en el nivel de concentración al usar frecuencias tipo alfa y beta. En el caso del impacto en el estado de ánimo sí se tuvo un cambio, a pesar que en ambos casos se tuvo en su mayoría un impacto significativo, al usar pulsos sin ruido rosa se tiene un 28 % de impacto leve. Esto tiene sentido tomando en cuenta que el mayor impacto tanto en emociones positivas como negativas lo tuvo el uso de pulsos binaurales con ruido rosa.

Por otro lado, en el caso del estudio del sueño se mantuvo una tendencia al impacto significativo en el estado de relajación (ver Figura 50) y en el tiempo para conciliar el sueño (ver Figura 51). Tomando en cuenta que la mayoría de sujetos de prueba practican hábitos del sueño recomendados, como lo es dormir en un ambiente silencioso, oscuro y relajante, no usar dispositivos electrónicos al menos una hora antes de dormir, y no consumir comidas abundantes, cafeína y /o alcohol, el hecho de mejorar el estado de relajación y tiempo de conciliación del sueño es un impacto relevante. Además, en general, se observó una tendencia a la mejora en la calidad del sueño debido a la rutina ideal del sueño de pulsos binaurales (ver Figuras 52 y 53).

En conclusión, el uso de pulsos binaurales en frecuencias de onda alfa y beta sí tiene un impacto considerable en el nivel de concentración y estado de ánimo, así como el uso de la rutina ideal del sueño de pulsos binaurales presentó un impacto en la calidad del sueño. Cabe resaltar que se tuvo un mayor efecto en el nivel de estado de ánimo en los sujetos de prueba usando pulsos binaurales enmascarados con ruido rosa.

Análisis cuantitativo del impacto de los pulsos binaurales

En el presente capítulo se menciona los métodos utilizados para la validación de datos de manera cuantitativa. En el caso de los resultados de las pruebas aritméticas y la velocidad de procesamiento de la prueba de Toulouse-Pieron se cumplió con los supuestos para aplicar la prueba t de Student. Mientras que para la exactitud de procesamiento de la prueba de Toulouse-Pieron no se cumplió con dichos supuestos y se decidió utilizar un análisis con pruebas no paramétricas. En ese caso, se utilizó la prueba de Wilcoxon ya que cumplía con todos los supuestos de dicha prueba, por lo que era apta para ser aplicada en los datos recopilados.

También se mencionan los resultados para poder rechazar o aceptar la hipótesis planteada, la cual indica si se tiene o no algún impacto al utilizar los pulsos binaurales. En el caso de los datos recopilados para medir el nivel de concentración se obtuvo que no se tiene evidencia suficiente para indicar una diferencia significativa en los datos, lo que implica que no generó un impacto relevante en el nivel de concentración. Por otro lado, para el nivel de estado de ánimo se utilizó el análisis de sentimientos con los comentarios recopilados para observar la polaridad de los mismos. Se obtuvo que antes de usar pulsos binaurales sin ruido rosa en su mayoría hay comentarios negativos, mientras que después del uso de pulsos binaurales se presentan comentarios entre neutros a positivos. No obstante, al momento de aplicar pulsos binaurales con ruido rosa hubo un impacto negativo, pasando de comentarios con polaridad neutra a polaridad negativa. Esto indica que sí tuvo un impacto en el estado de ánimo de la persona. Por último, para el estudio del sueño, a pesar que no se recopiló una gran cantidad de muestras para realizar un estudio cuantitativo robusto, se comenzó a ver una tendencia a la mejora en la calidad del sueño.

11.1. Métodos de validación para el análisis cuantitativo

Para el estudio de concentración se tomó en cuenta la pruebas mencionadas en [9.3](#). En el caso de la primera prueba (pruebas aritméticas mentales) se recopiló sus resultados con y sin pulsos binaurales. Cabe mencionar que en esta prueba por cada respuesta correcta se sumaba un punto a la puntuación final, mientras que por cada incorrecta se restaba uno. La prueba dentro de la plataforma termina al momento de tener una calificación de 15/15. Sin embargo, solamente se cuantificó el resultado obtenido después de los tres minutos de prueba. En el caso de la prueba de Toulouse-Pieron se recopiló la cantidad de muestras procesadas y el error total (tanto aquellos seleccionados correctos así como los seleccionados incorrectos de forma errónea, es decir, falsos positivos y falsos negativos). También se anotó la velocidad y exactitud de procesamiento, identificando en qué nivel de la escala de Toulouse-Pieron se encontraba su nivel de concentración.

Para determinar el impacto de los pulsos binaurales en el nivel de concentración se utilizó la prueba t de Student, específicamente la de muestras o grupos pareados. Esto debido a que esta prueba se recomienda al momento de comparar la media de uno o máximo dos grupos que contienen a los mismos sujetos y factores, en este caso los resultados obtenidos con y sin pulsos binaurales. Cabe mencionar que se realizó el análisis tanto para los pulsos binaurales con ruido rosa, así como sin ruido rosa. Entre los supuestos de esta prueba se encuentran:

- Las variables son independientes. En este caso, cada sujeto de prueba realizó los experimentos de forma independiente.
- Cada par de mediciones son tomadas del mismo sujeto. En este caso, cada sujeto realizó el experimento con y sin pulsos binaurales.
- Las diferencias tienen una distribución normal.

Para comprobar el último supuesto se utilizó el análisis de normalidad mediante el gráfico de probabilidad. Este gráfico permite comparar la distribución de un conjunto de datos con una distribución especificada. Para ello, se calculó la diferencia de los datos de las pruebas experimentales con y sin pulsos binaurales, y se ordenaron los resultados de menor a mayor. Después, se determinó los valores de probabilidad utilizando la Ecuación [\(3\)](#). Luego, se prosiguió a determinar los cuantiles usando la función de Microsoft Excel para calcular la distribución estándar inversa según el valor de probabilidad. Finalmente, se realizó la gráfica de probabilidad.

$$p_i = \frac{i - 0.5}{n} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

donde n es el cantidad de datos totales de la muestra.

Como se puede observar en la gráfica de la Figura [63](#) que contiene los datos normalizados usando pulsos binaurales sin ruido rosa, se tuvo un valor de R^2 de 0.925 para una tendencia lineal, lo que implica que los datos sí cumplen con una distribución normal ya que el valor es mayor de 0.90. Esto se observa también de manera gráfica, ya que cumple con ser próxima a una recta $y = kx$. Por lo que, la prueba t de Student pareada sí se puede aplicar para estos datos.

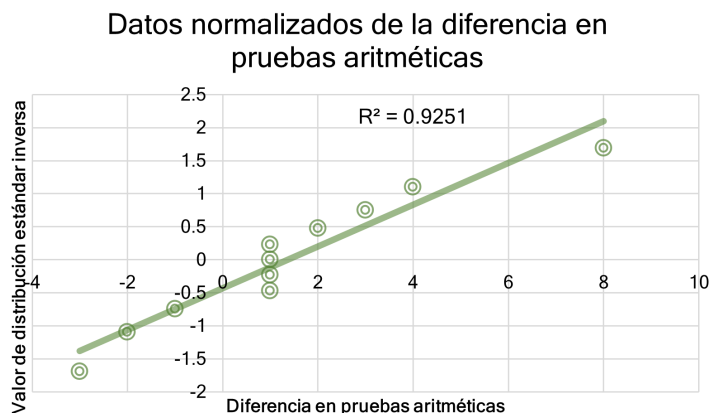


Figura 63: Gráfica de probabilidad normal con la diferencia de los datos en las pruebas aritméticas usando pulsos binaurales sin ruido rosa.

En el caso de los datos normalizados usando pulsos binaurales con ruido rosa se puede observar en la gráfica de la Figura 64 que se tuvo un valor R^2 de 0.990 para una tendencia lineal, lo que implica que los datos sí cumplen con una distribución normal ya que el valor es mayor de 0.90.

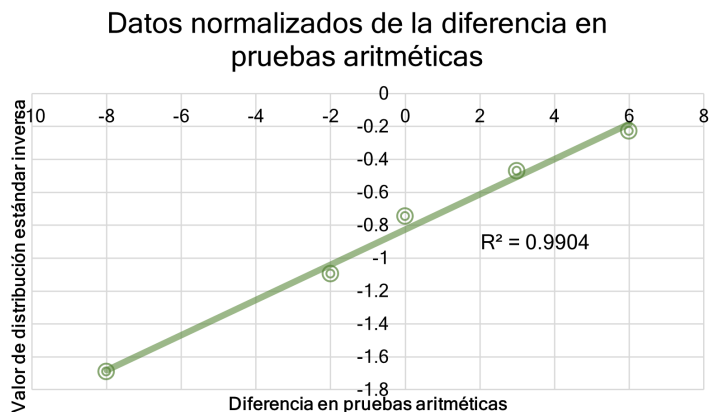


Figura 64: Gráfica de probabilidad normal con la diferencia de los datos en las pruebas aritméticas usando pulsos binaurales con ruido rosa.

En tanto a los datos de la prueba de Toulouse-Pieron, se puede observar en la gráfica de la Figura 65 que se tuvo un valor de R^2 de 0.9465 para una tendencia lineal, por lo que los datos sí cumplen con una distribución normal. Por lo que, la prueba t de Student pareada sí se puede aplicar para estos datos. Cabe mencionar que para esta prueba sólo se realizó usando pulsos binaurales sin ruido rosa.

Sin embargo, para los datos de la exactitud de procesamiento, la diferencia no cumplió con una distribución normal, presentando un R^2 de 0.093 para una tendencia lineal. Por ello, se decidió tomar otro enfoque de análisis para esta variable usando la prueba no paramétrica de Wilcoxon. Los supuestos de esta prueba indican que los datos deben ser pareados, es decir, que ambos grupos de datos sean tomados de los mismos sujetos de prueba cambiando

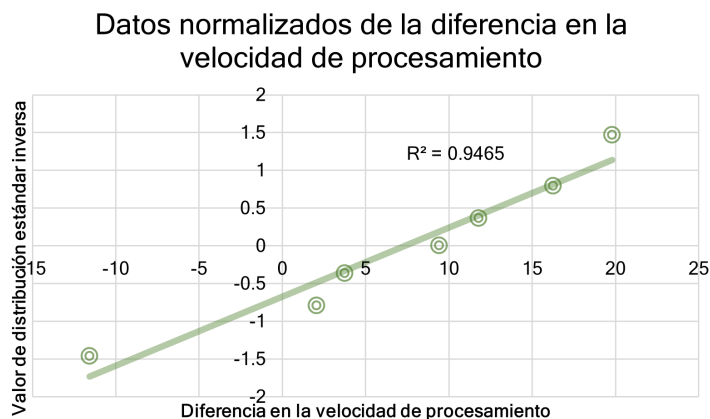


Figura 65: Gráfica de probabilidad normal con la diferencia de la velocidad de procesamiento en la prueba de Toulouse-Pieron usando pulsos binaurales sin ruido rosa.

solo una condición (en este caso, la ausencia o presencia de pulsos binaurales), además que deben ser ordinales. Para ello se implementó un programa en Python usando las funciones estadísticas de la librería *Scipy*. Se determinó el conjunto de datos de ambos grupos, con pulsos y sin pulsos binaurales y se aplicó la prueba de Wilcoxon. Esta prueba devuelve el valor estadístico de la prueba, así como el valor p para determinar si se puede rechazar o no la hipótesis nula.

Teniendo delimitadas las pruebas estadísticas a realizar según los supuestos encontrados, se prosiguió a definir la hipótesis nula y alternativa tanto para la prueba t de Student como para la prueba de Wilcoxon. La ventaja de estas dos pruebas es que la definición de las hipótesis, así como la interpretación de resultados es similar. Esto se debe a que el objetivo de ambas pruebas es determinar si la diferencia entre medias pareadas de una población es o no igual a cero. Debido a que el estudio de esta fase quiere determinar si los pulsos binaurales tienen impacto o no en la concentración se tomó un análisis bilateral. Esto quiere decir que no se está midiendo un impacto positivo o negativo, solamente se quiere comprobar si existe algún impacto. En ese contexto, la definición de hipótesis queda de la siguiente manera:

$$H_0 = 0$$

$$H_A \neq 0$$

En este caso, si se rechaza la hipótesis nula indicaría que sí hubo impacto en el nivel de concentración usando los pulsos binaurales. Esto se debe a que la evidencia indicaría que existe una diferencia en las medias o medianas de los datos, dependiendo de la prueba utilizada.

Por otro lado, para medir el nivel de concentración en el caso de la prueba libre con los 15 minutos realizando una actividad que requiera concentración se utilizó como método de validación la retroalimentación de los sujetos de prueba por medio de comentarios antes y después de las pruebas. Esto mismo se realizó para medir el impacto de los pulsos para el

estado de ánimo tanto al momento de realizar las pruebas de concentración como con las pruebas específicas del estudio del estado de ánimo, y también para el estudio del sueño. Debido a que los comentarios son una variable abstracta, se tomó un enfoque diferente para el análisis cuantitativo usando el análisis de sentimiento.

Este análisis permite obtener la polaridad del sentimiento según la información obtenida en el comentario, indicando una reacción positiva, neutral o negativa. Para ello se utilizó la librería *nltk* que contiene una función para aplicar el analizador de sentimientos. Cabe mencionar que se utilizó en específico esta librería debido a que está especializada en comentarios breves o cortos. También se tuvo que utilizar la librería *googletrans* debido a que la librería antes mencionada recibe comentarios por defecto en el idioma inglés, por lo que fue necesario traducirlos para que se pudiera aplicar el analizador de la manera correcta.

11.2. Resultados de las pruebas usando pulsos binaurales sin ruido rosa

Los resultados que se muestran a continuación son los relacionados a las pruebas de concentración tanto de razonamiento aritmético como las de Toulouse-Pieron usando pulsos binaurales sin ruido rosa. Además, se presenta el análisis de sentimiento de la retroalimentación obtenida de los sujetos. Cabe mencionar que este análisis sólo toma en cuenta el cambio en el estado de ánimo de los sujetos antes y durante las pruebas de concentración. Finalmente, se encuentran los resultados del estudio del sueño. En este último, solamente se utilizó pulsos binaurales sin ruido rosa. Se analiza un total de 41 pruebas para el estudio completo, siendo 18 para el estudio de concentración, 18 para el estudio de estado de ánimo y 5 para el estudio del sueño (ver Cuadro [7](#)).

11.2.1. Resultados del impacto en el nivel de concentración

Como se mencionó anteriormente, los resultados van acorde a la aplicación de la prueba *t* de Student y la prueba no paramétrica de Wilcoxon. Para la prueba *t* de Student se utilizó el analizador de datos de Microsoft Excel para muestras pareadas con un valor de significancia $\alpha = 0.05$. En el caso de las pruebas aritméticas se obtuvo una media sin pulsos de -0.55, es decir, en su mayoría los sujetos al terminar los tres minutos tenían un total de -1/15, mientras que con pulsos se tuvo una media de 0.82, es decir un resultado de 1/15. Sin embargo, se determinó que la varianza del grupo sin pulsos binaurales fue de 5.67, mientras que con pulsos fue de 12.56. Esto quiere decir que aunque hubo una mejoría con pulsos binaurales sin ruido rosa, los datos se encuentran más dispersos.

En el caso de la velocidad de procesamiento se obtuvo una media de 53.95 caracteres por minuto (car/min) procesados sin pulsos binaurales, mientras que con pulsos se tuvo un valor de 61.31 car/min. Sin embargo, nuevamente se tiene una varianza mucho mayor con pulsos binaurales que sin pulsos, siendo de 61.31 car/min a comparación de 53.95 car/min. Esto nuevamente indica que aunque hubo una mejoría en la media, varios sujetos de prueba no presentaron algún impacto en su nivel de concentración.

Al momento de aplicar el análisis, como se puede observar en el Cuadro 10 se obtuvo para ambas pruebas que $t_{stat} > -t_{critico}$. Además, se obtuvo que $p > \alpha = 0.05$. Al estar realizando un análisis bilateral para poder rechazar la hipótesis nula se debe cumplir que: $t_{stat} < -t_{critico}$ o $t_{stat} > t_{critico}$. Sin embargo, no se cumple el primer criterio, esto indica que no se puede rechazar la hipótesis nula (H_0) y, por consiguiente, no se tuvo un impacto al usar pulsos binaurales sin ruido rosa.

Índice	Prueba aritmética	Velocidad de procesamiento
t estadístico	-1.5030	-1.8613
Valor P	0.0819	0.0560
t crítico de una cola	1.8125	1.9432

Cuadro 10: Valores estadísticos usando la prueba t de Student.

Para la prueba de Wilcoxon, se aplicó el programa en Python descrito anteriormente a los datos de exactitud de procesamiento con presencia y ausencia de pulsos binaurales. Se obtuvo un valor p de 0.0956 usando un valor de $\alpha = 0.05$. Nuevamente en esta prueba no se pudo rechazar la hipótesis nula (H_0) y, por consiguiente, no hay evidencia suficiente que indique una diferencia significativa con o sin pulsos binaurales en el nivel de concentración.

Esto también se pudo comprobar mediante el clasificador de las etapas de concentración realizado en [39] el cual utilizó el algoritmo DBSCAN en Python como se mencionó en la sección 9.4. Este indicó que se tuvo un 21 % de mejora con los pulsos binaurales, es decir, los pulsos binaurales no tuvieron, en su mayoría, un impacto positivo en los sujetos de prueba. Además, indicó que más del 50 % de los sujetos de prueba se encontraban igual o ligeramente más desconcentrados al utilizar los pulsos binaurales. Esto se relaciona a lo encontrado con las pruebas estadísticas, confirmando que los pulsos binaurales sin ruido rosa no tienen un impacto significativo en el nivel de concentración de las personas.

En el caso del análisis de sentimientos realizado para observar la percepción en el nivel de concentración según los sujetos de prueba se utilizó una escala entre -1.0 y 1.0, indicando comentarios negativos aquellos cercanos a -1.0 y comentarios positivos los cercanos a 1.0. Como se puede observar en la Figura 66 del lado izquierdo, los comentarios en su mayoría tienden a ser negativos (valor entre 0.0 y -0.5). Por el contrario, como se observa del lado derecho al momento de usar pulsos binaurales se obtuvieron comentarios en su mayoría neutrales a positivos, disminuyendo considerablemente la cantidad de comentarios negativos.

Esto indica que en su mayoría los sujetos de prueba percibieron que los pulsos binaurales sin ruido rosa tuvieron un impacto positivo en su nivel de concentración. Esto puede relacionarse a que hubo una disminución en el nivel de estrés y que algunos sujetos incrementaron su relajación. También predominaron comentarios indicando que se sintieron en calma y concentrados.

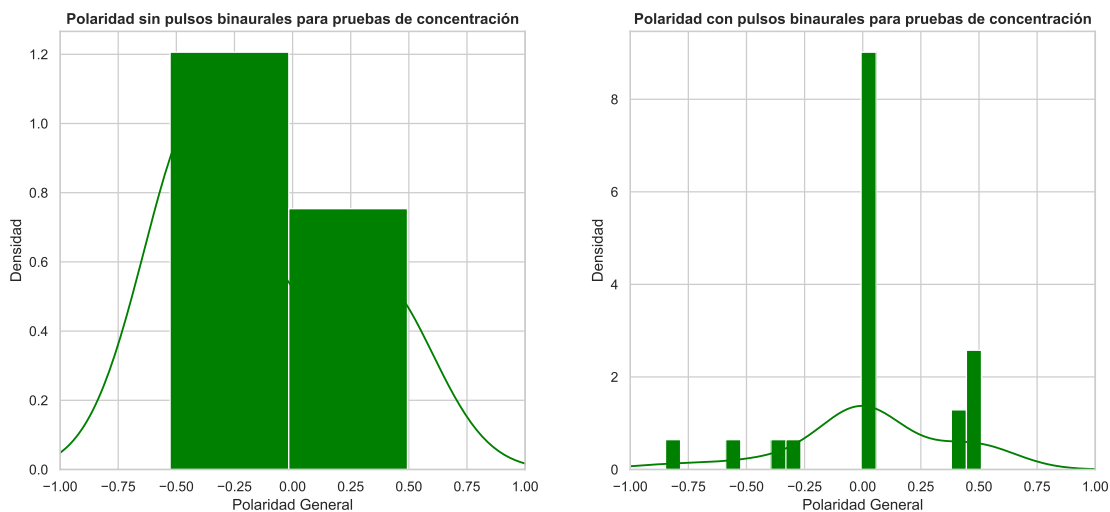


Figura 66: Gráfica de análisis de polaridad en el nivel de concentración: sin pulsos binaurales (izquierda) y con pulsos binaurales sin ruido rosa (derecha).

11.2.2. Resultados del impacto en el nivel de estado de ánimo

Para medir el nivel de cambio en el estado de ánimo percibido por los sujetos de prueba durante las pruebas de concentración, tanto de razonamiento aritmético como las de Toulouse-Pieron, se utilizó el análisis de sentimientos. Como se mencionó en la sección anterior, el análisis de sentimientos utilizó una escala entre -1.0 y 1.0, indicando comentarios negativos aquellos cercanos a -1.0 y comentarios positivos los cercanos a 1.0.

En el caso del cambio percibido en el estado de ánimo al momento de realizar las pruebas de concentración se observa en la Figura 67 del lado izquierdo que antes de realizar las pruebas los comentarios en su mayoría tienden a ser positivos con una media de 0.22. Esto se relaciona con las emociones que predominaron antes del estudio como se observó en el Cuadro 8 en la cual predominaba la alegría y emoción. Por otro lado, después de realizar las pruebas como se observa del lado derecho, los comentarios tienden a ser más neutrales con una media en 0.16, lo cual se relaciona con la ansiedad y angustia que sintieron algunos sujetos. Esto indica que sí tuvo un impacto en el estado de ánimo de la persona, pero de manera leve a moderada.

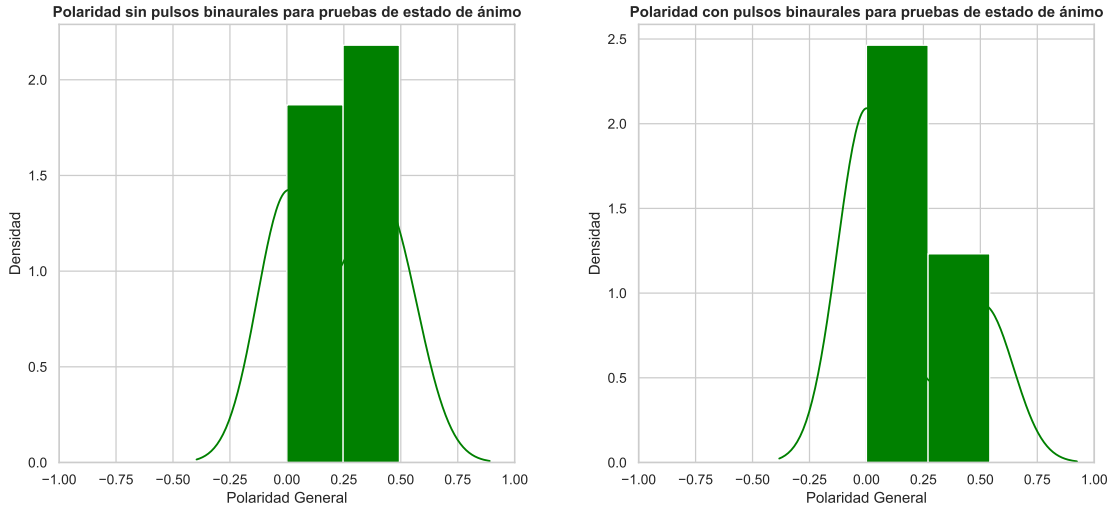


Figura 67: Gráfica de análisis de polaridad en el nivel de estado de ánimo: sin pulsos binaurales (izquierda) y con pulsos binaurales sin ruido rosa (derecha).

11.2.3. Resultados del impacto en la calidad del sueño

Para el estudio del sueño se tomó en cuenta los comentarios mencionados por los sujetos de prueba después de haber pasado dos noches utilizando los pulsos binaurales. Como se puede observar en la Figura 68, solamente se tienen comentarios positivos (entre 0.5 y 0.75) teniendo una media de 0.68. Esto indica que para los sujetos de prueba se tuvo un impacto positivo en su calidad del sueño.

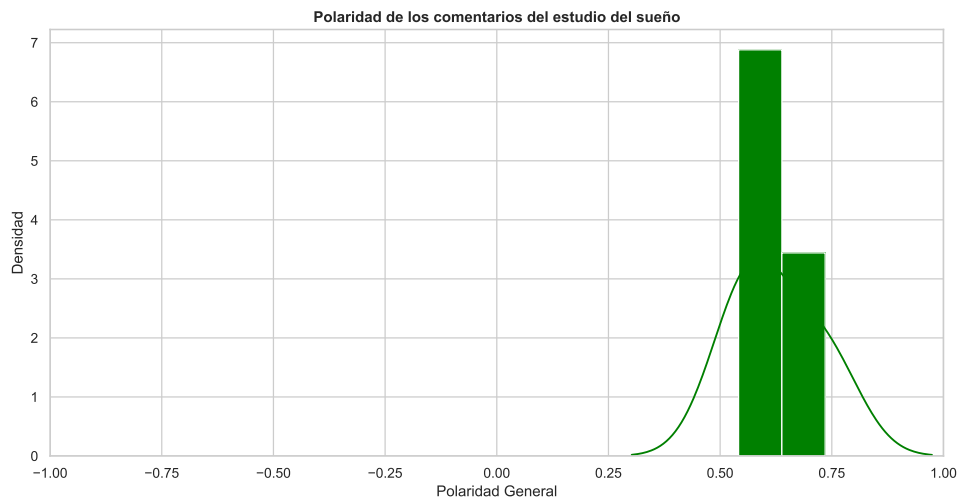


Figura 68: Gráfica de análisis de polaridad en la calidad del sueño: sin pulsos binaurales (izquierda) y con pulsos binaurales sin ruido rosa (derecha).

Como se mencionó en la sección 9.4 se realizó un trabajo colaborativo para tener más de un método de validación del impacto en la calidad del sueño. Se pudo observar en 39 que no se está obteniendo una clasificación idónea de etapas de sueño. Se menciona que esto puede deberse por la naturaleza del estudio, el cual es inter-sujeto. Esto indica que los datos con los que es entrenado el clasificador pertenecen a un gran número de personas que no participaron en el estudio y las señales EEG varían entre personas. También existen otros factores como el ruido y/o el re-muestreo de la señal. Cabe mencionar que se tuvo que realizar un re-muestreo debido a que no se está utilizando el mismo programa para la recolección de datos y se tuvo que acoplar al clasificador realizado en la fase anterior.

Sin embargo, entre los resultados preliminares se pudo observar que las noches donde los sujetos estuvieron expuestos a pulsos binaurales se redujo el porcentaje de error en la obtención de una noche de sueño ideal, es decir, se mejoró ligeramente la calidad del sueño. Esto indica que tanto por medio de las señales EEG obtenidas, así como con la percepción de la persona, se tiene una tendencia a una posible mejora en la calidad del sueño.

11.3. Resultados de las pruebas usando pulsos binaurales con ruido rosa

Los resultados que se muestran a continuación son relacionados a las pruebas de razonamiento aritmético y las pruebas libres realizando una actividad de concentración usando pulsos binaurales con ruido rosa. También se muestran los resultados de las pruebas de estado de ánimo usando videos y relatos para medir el cambio en el sujeto de prueba. En tanto al estudio del sueño no se realizó alguna prueba con pulsos binaurales con ruido rosa. Se analizó un total de 25 pruebas para el estudio completo, siendo 11 para el estudio de concentración y 14 para el estudio del sueño (ver Cuadro 9).

11.3.1. Resultados del impacto en el nivel de concentración

En el caso del impacto en el nivel de concentración al momento de realizar las pruebas de razonamiento aritmético, así como se mencionó en la metodología de validación, los resultados van acorde a la aplicación de la prueba t de Student. Se utilizó el analizador de datos de Microsoft Excel para muestras pareadas con un valor de significancia $\alpha = 0.05$. En el caso de las pruebas aritméticas se obtuvo una media sin pulsos de 7.2 y con pulsos de 7.0, es decir, en su mayoría los sujetos al terminar los tres minutos tenían un resultado de 7/15. Esto indica que no se tuvo un cambio en la cantidad de respuestas correctas. Se determinó que la varianza del grupo sin pulsos binaurales fue de 9.7, mientras que con pulsos fue de 13. Esto indica que los datos estaban más dispersos para las pruebas con pulsos binaurales con ruido rosa, es decir, algunos sujetos empeoraron en su nivel de concentración.

Al momento de aplicar el análisis, como se puede observar en el Cuadro 11 se obtuvo que $t_{stat} < t_{critico}$. Además, se obtuvo que $p > \alpha = 0.05$. Al estar realizando un análisis bilateral para poder rechazar la hipótesis nula se debe cumplir que: $t_{stat} < -t_{critico}$ o $t_{stat} > t_{critico}$. Sin embargo, no se cumple el segundo criterio, esto indica que no se puede rechazar la hipótesis nula (H_0) y, por consiguiente, no se tuvo un impacto al usar pulsos binaurales con

ruido rosa.

Índice	Prueba aritmética
t estadístico	0.0842
Valor P	0.4685
t crítico de una cola	2.1318

Cuadro 11: Valores estadísticos de las pruebas aritméticas usando pulsos binaurales con ruido rosa.

En el caso del análisis de sentimientos realizado para observar la percepción en el nivel de concentración según los sujetos de prueba se usó la escala entre -1.0 (comentarios negativos) y 1.0 (comentarios positivos). Como se puede observar en la Figura 69 del lado izquierdo, los comentarios en su mayoría tienden a ser negativos (valor entre 0.0 y -0.75). Por el contrario, como se observa del lado derecho, al momento de usar los pulsos binaurales con ruido rosa se obtuvieron comentarios que tienden a ser positivos. Sin embargo, se observa todavía comentarios negativos, esto puede relacionarse a lo indicado en la sección 10.3.1 en la cual se observó que aumentó el nivel de estrés y enojo de los sujetos.

Esto indica que en su mayoría los sujetos de prueba percibieron que los pulsos binaurales con ruido rosa tuvieron un impacto positivo en su nivel de concentración. Esto puede relacionarse a que hubo un incremento en el nivel de relajación entre 1, 2 o 3 niveles por encima del estado inicial del sujeto de prueba.

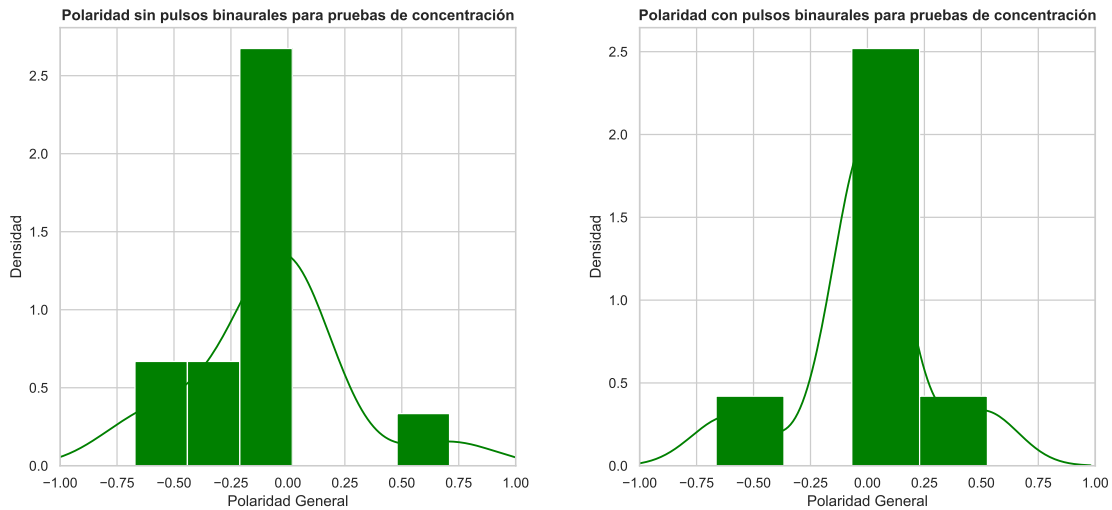


Figura 69: Gráfica de análisis de polaridad en el nivel de concentración: sin pulsos binaurales (izquierda) y con pulsos binaurales con ruido rosa (derecha).

11.3.2. Resultados del impacto en el nivel de estado de ánimo

Para medir el nivel de cambio en el estado de ánimo percibido por los sujetos de prueba durante las pruebas de razonamiento aritmético, se utilizó el análisis de sentimiento con la escala mencionada en la sección anterior. Como se observa en la Figura 70 del lado izquierdo que antes de realizar las pruebas los comentarios en su mayoría tienden a ser de neutrales a

negativos. Por otro lado, después de realizar las pruebas como se observa del lado derecho, los comentarios tienden a ser entre neutrales a positivos. Esto se relaciona con los resultados obtenidos en la sección 10.3.1 en el cual se menciona que la emoción que predominó antes de la prueba fue aburrimiento, mientras que después predominó la emoción. Esto indica que sí tuvo un impacto en el estado de ánimo de la persona.

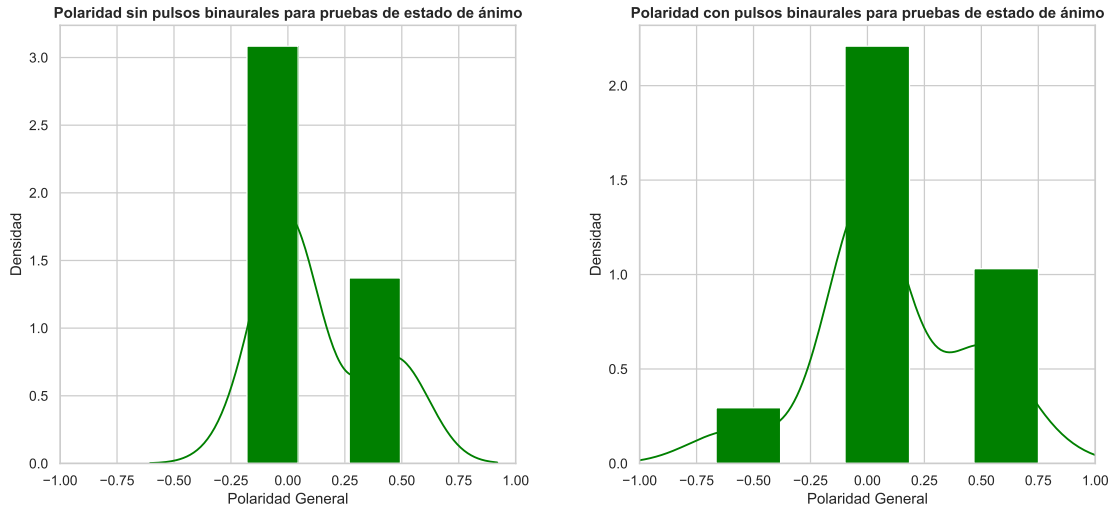


Figura 70: Gráfica de análisis de polaridad en el nivel de estado de ánimo: sin pulsos binaurales (izquierda) y con pulsos binaurales con ruido rosa (derecha).

Por otro lado, se realizó el análisis de sentimientos para los comentarios de las pruebas específicas del estado de ánimo con videos y lecturas mencionadas en la sección 9.3.2. En el caso del nivel de alegría, se puede observar en la Figura 71 del lado izquierdo, que la percepción de los sujetos de prueba hacia los videos relacionados con ese estado, si cumplieron el objetivo, ya que en su mayoría son comentarios positivos (entre 0 y 0.75). Sin embargo, al momento de usar pulsos binaurales la lectura no fue percibida por los sujetos de la misma manera, ya que se tienen solamente comentarios negativos (entre -0.8 y 0). Esto indica que los pulsos binaurales con ruido rosa impactaron de manera negativa al sujeto de prueba.

En el caso del nivel de tristeza, se puede observar en la Figura 72 del lado izquierdo, que la percepción de los sujetos hacia los videos relacionados con tristeza sí fueron tomados como una emoción negativa, ya que se encuentra entre -0.8 y 0. Mientras que, al momento de usar pulsos binaurales con ruido rosa disminuyó considerablemente el nivel de tristeza percibido, concentrando la mayor parte entre -0.2 y 0. Esto indica que los pulsos impactaron de manera significativa al sujeto de prueba.

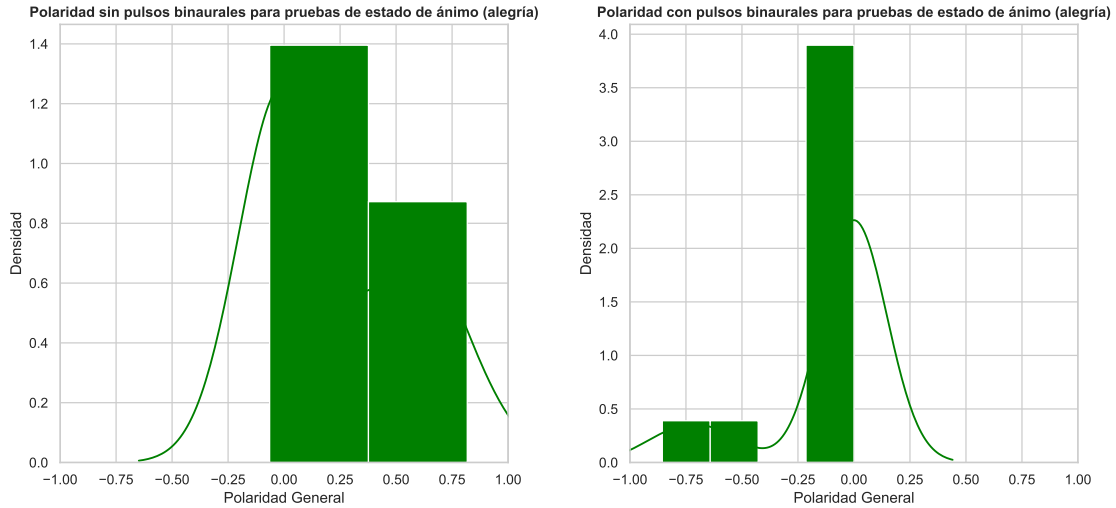


Figura 71: Gráfica de análisis de polaridad en el nivel de alegría: sin pulsos binaurales (izquierda) y con pulsos binaurales con ruido rosa (derecha).

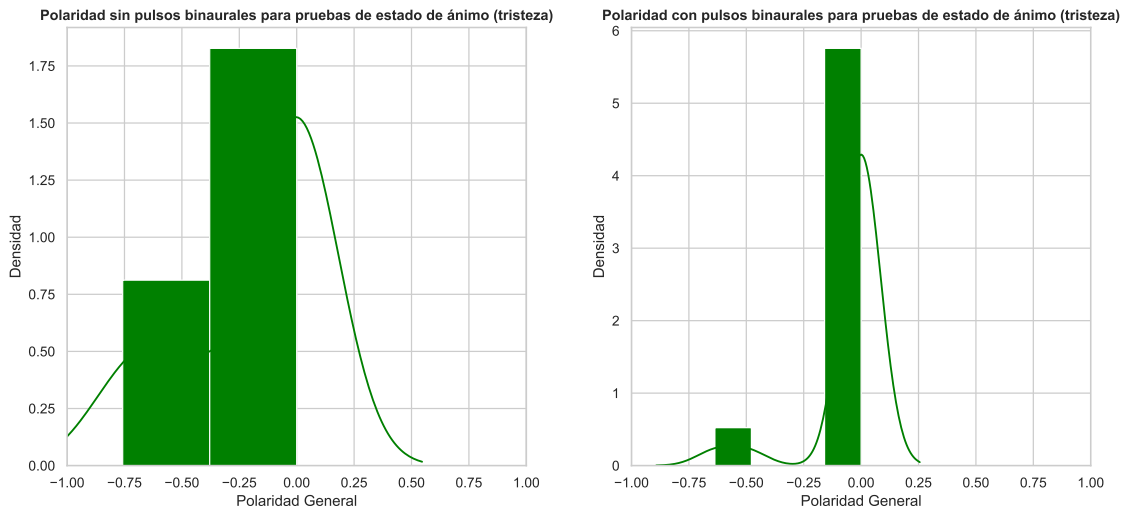


Figura 72: Gráfica de análisis de polaridad en el nivel de tristeza: sin pulsos binaurales (izquierda) y con pulsos binaurales con ruido rosa (derecha).

Por último, para el nivel de frustración, se puede observar en la Figura 73 que sin pulsos binaurales este estado fue percibido en la gran mayoría de manera neutral, concentrando a la población entre -0.25 a 0.25. Sin embargo, al momento de utilizar pulsos binaurales con ruido rosa, se observa que solamente tiene concentración de población del lado negativo. Esto indica que los pulsos binaurales provocaron un impacto negativo en el nivel de frustración del sujeto de prueba.

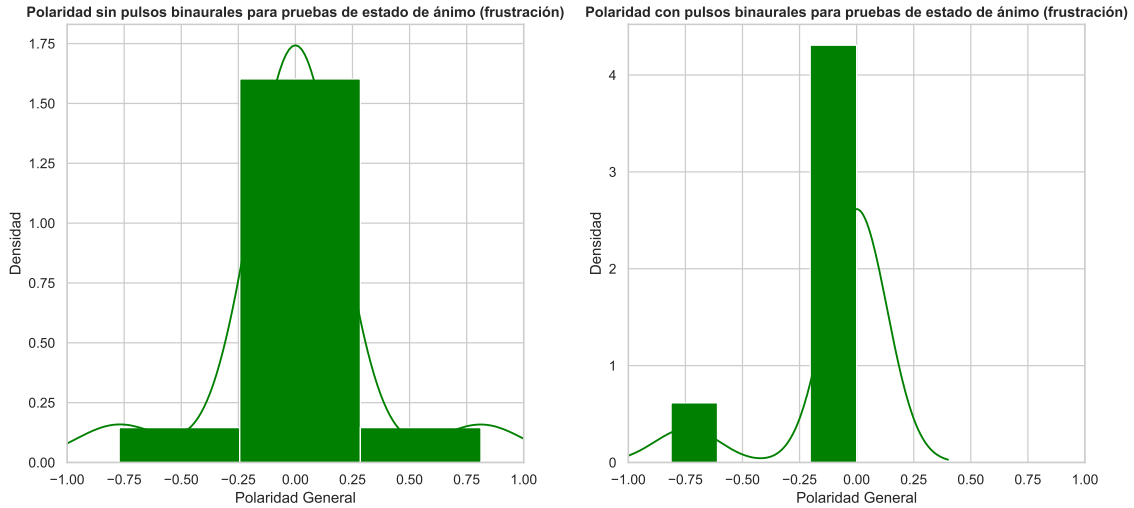


Figura 73: Gráfica de análisis de polaridad en el nivel de frustración: sin pulsos binaurales (izquierda) y con pulsos binaurales con ruido rosa (derecha).

11.4. Discusión de resultados

En esta sección se muestra el análisis de los resultados cuantitativos del estudio de concentración, estado de ánimo y sueño usando pulsos binaurales con y sin ruido rosa. En el caso del estudio del sueño solamente se utilizó la rutina ideal de pulsos binaurales sin ruido rosa. Cabe destacar que es un análisis preliminar, ya que se tuvo mayor cantidad de sujetos de prueba en el uso de pulsos binaurales sin ruido rosa, por lo que se están observando y remarcando posibles tendencias con base a lo obtenido hasta el momento.

En el caso del nivel de concentración de las pruebas aritméticas se obtuvo que no se puede rechazar la hipótesis nula tanto con pulsos binaurales sin ruido rosa, así como con ruido rosa. Esto indica que no tuvo un impacto significativo en el nivel de concentración del sujeto de prueba al momento de realizar la prueba. Esto también se validó por medio de la prueba de Toulouse-Pieron, en la cual también se obtuvo que no hay un impacto significativo en el nivel de concentración usando pulsos binaurales sin ruido rosa. Además, se validó mediante el clasificador realizado en [39]. Este mostró que solamente se tuvo un 21 % de mejora, y para más del 50 % de sujetos no tuvo efecto o, incluso, se encontraban más desconcentrados.

Sin embargo, al observar el análisis de sentimientos del uso de pulsos binaurales sin ruido rosa se obtuvo que en su mayoría sí generó un impacto en el nivel de concentración, pasando de comentarios con polaridad en su mayoría negativa a comentarios con polaridad neutra a positiva (ver Figura 66). Esto puede deberse a que subjetivamente el individuo se sugestiona con la idea que los pulsos binaurales sí están generando un impacto, por lo que, lo percibe de esta manera. Esto se reafirma al observar el caso del uso de pulsos binaurales con ruido rosa. En ese caso se observa en la Figura 69 que hay un cambio muy leve en la polaridad de los comentarios. Esto indica que hay una correlación con lo obtenido cuantitativamente y cualitativamente al momento de usar pulsos binaurales con ruido rosa, siendo que no hay

un impacto significativo en el nivel de concentración. Esto es esperado, ya que al usar como método de enmascaramiento el ruido rosa disminuye el efecto placebo y, por consiguiente, el individuo responde de una manera objetiva al estudio.

Por otro lado, en el caso del nivel de estado de ánimo al momento de realizar las pruebas de concentración con pulsos binaurales sin ruido rosa presentaron un cambio moderado en el estado de ánimo del sujeto. En este caso, se tuvo un cambio negativo, pasando de comentarios con polaridad en su mayoría positiva a comentarios con polaridad neutra. En el caso del uso de pulsos binaurales con ruido rosa presentó un cambio leve en el estado de ánimo, nuevamente de manera negativa.

Principalmente en el nivel de estado de ánimo usando pulsos binaurales con ruido rosa se observó un cambio negativo en la polaridad. En las pruebas realizadas con las emociones predominantes de alegría, tristeza y frustración, se observó que en los tres casos los sujetos de prueba percibieron de manera negativa el sentimiento. Esto puede relacionarse con lo observado de manera cualitativa al tener aumento en el estrés y en el enojo del sujeto de prueba al momento de usar pulsos binaurales con ruido rosa.

Finalmente, para el estudio del sueño se pudo observar una tendencia a la mejora en la calidad del sueño. Al observar la polaridad de los comentarios realizados se puede decir que los sujetos de prueba lo percibieron como un impacto positivo. Esto también se verificó por medio del clasificador de etapas de sueño, el cual menciona que existe cierta tendencia a la mejora en la calidad del sueño. Sin embargo, debido a los problemas relacionados con el equipo utilizado, teniendo que cambiarlo por una versión más actualizada a mitad del estudio, esto pudo afectar los resultados obtenidos.

En conclusión, el uso de pulsos binaurales no tienen un impacto en el nivel de concentración, presentan un impacto moderado en el estado de ánimo y un impacto significativo en la calidad del sueño. Cabe resaltar que se tuvo un mayor efecto en el nivel de estado de ánimo en los sujetos de prueba usando pulsos binaurales mezclados con ruido rosa.

- Se llevó a cabo una mejora significativa en el módulo generador de pulsos binaurales, orientada tanto al estudio de concentración y estado de ánimo como al estudio del sueño, permitiendo su aplicación efectiva en sujetos de prueba.
- Se implementó un protocolo de investigación ampliado, lo que posibilitó la obtención de una mayor cantidad de muestras teniendo un total de 66 pruebas y una participación de 43 sujetos. Esto permitió el uso de datos sustanciales para llevar a cabo un análisis estadístico más completo respecto a fases anteriores.
- De manera cualitativa, se observó que la aplicación de pulsos binaurales tanto con como sin ruido rosa ha generado un impacto significativo en los niveles de concentración y estado de ánimo de los participantes.
- En términos cuantitativos, se evidenció que la aplicación de pulsos binaurales no produjo un impacto estadísticamente significativo en los niveles de concentración general de los participantes. Es relevante destacar que algunos sujetos de prueba han percibido mejoras subjetivas en su concentración.
- Se observó que la aplicación de pulsos binaurales con enmascaramiento de ruido rosa sí disminuyó el efecto placebo, lo que permitió que los participantes brindaran una retroalimentación más objetiva.
- De manera cuantitativa, se evidenció que el uso de pulsos binaurales sin como con ruido rosa generó un impacto moderado en el estado de ánimo de los participantes. Esto se sustenta al observar la mayor frecuencia de comentarios que oscilan entre neutros y positivos después de la aplicación de los pulsos sin ruido rosa, así como una mayor frecuencia en comentarios con polaridad negativa al aplicar pulsos con ruido rosa.
- En relación al estudio del sueño, se reconoce que se requiere una cantidad más extensa de muestras para llevar a cabo un análisis estadístico exhaustivo, sin embargo, se observa una tendencia a la mejora en la calidad del sueño tanto de manera cualitativa como cuantitativa.

Recomendaciones

- Se recomienda usar la técnica de enmascaramiento de pulsos binaurales con ruido blanco o rosa, sin informar al sujeto de prueba sobre cuándo se están reproduciendo los pulsos binaurales y cuándo se está aplicando otro tipo de ruido. Esta estrategia permite una medición más específica del impacto de los pulsos binaurales, eliminando posibles factores subjetivos y mejorando la rigurosidad del estudio.
- Se aconseja la exploración de diversas pruebas estandarizadas para evaluar la concentración y el estado de ánimo. Esta diversificación en las evaluaciones proporcionará un panorama más completo, permitiendo una verificación más sólida del impacto real de los pulsos binaurales en estos aspectos.
- Se sugiere la realización de estudios recurrentes con los mismos sujetos de prueba. La exposición constante y repetitiva a los pulsos binaurales puede influir en el impacto percibido por los participantes, lo que hace necesario llevar a cabo evaluaciones periódicas para comprender mejor la evolución de dichos impactos a lo largo del tiempo.
- Se recomienda llevar a cabo el estudio en un entorno consistente, con factores ambientales idénticos tanto antes como después de la aplicación de pulsos binaurales. La introducción de audífonos con cancelación de ruido contribuirá a crear un ambiente controlado, mejorando la concentración del participante y permitiendo una medición más precisa del impacto de los pulsos binaurales en condiciones uniformes.
- Se sugiere llevar a cabo la evaluación de los espectros de frecuencia de audio de los dos canales utilizando la Transformada Rápida de Fourier (FFT), expresando los resultados en decibelios, con el propósito de poder generalizar los hallazgos a diversos dispositivos.
- Se sugiere la exploración de dispositivos alternativos a los auriculares convencionales, como las bandas o diademas de vibración ósea, con el propósito de mejorar la precisión de las mediciones y, por ende, permitir ajustes en la metodología para obtener resultados óptimos. Estos dispositivos también pueden contribuir a prevenir daños auditivos a largo plazo asociados al uso prolongado de auriculares y ampliar el alcance de aplicación a individuos que encuentren incómodo el uso de auriculares convencionales.

-
- [1] A. F. M. Abadin, A. Imtiaz, M. Ahmed y M. Dutta, “A Brief Study of Binaural Beat: A Means of Brain-Computer Interfacing,” *Advances in Human-Computer Interaction*, vol. 2021, págs. 1-8, dic. de 2021. DOI: [10.1155/2021/6814208](https://doi.org/10.1155/2021/6814208).
 - [2] N. Jirakittayakorn e Y. Wongsawat, “A Novel Insight of Effects of a 3-Hz Binaural Beat on Sleep Stages During Sleep,” en *Frontiers in Human Neuroscience*, vol. 12, 2018. DOI: [10.3389/fnhum.2018.00387](https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00387).
 - [3] J. Aguirre, “Diseño, Análisis, y Desarrollo de un Sistema de Entrenamiento para Mejorar el Desempeño de los Atletas del Comité Olímpico Guatemalteco,” Tesis de licenciatura, Universidad Del Valle de Guatemala, 2018.
 - [4] M. Godoy, “Sistema de Neurofeedback para Mejorar el Rendimiento de los Atletas del Comité Olímpico Guatemalteco. Diseño e implementación de Módulo de Recopilación de Señales y Módulo de Retroalimentación,” Tesis de licenciatura, Universidad Del Valle de Guatemala, 2018.
 - [5] J. P. Muñoz, “Diseño de un Sistema Inteligente de Monitoreo de Ondas EEG y Generador de Pulsos Binaurales para Combatir Desórdenes de Sueño en los Atletas,” Tesis de licenciatura, Universidad Del Valle de Guatemala, 2019.
 - [6] J. P. Muñoz y L. A. Rivera, “Towards Improving Sleep Quality Using Automatic Sleep Stage Classification and Binaural Beats,” en *2020 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)*, 2020, págs. 4982-4985. DOI: [10.1109/EMBC44109.2020.9176385](https://doi.org/10.1109/EMBC44109.2020.9176385).
 - [7] O. R. López, “Análisis y Reconomiento de Patrones de Señales Biomédicas Relacionadas a las Etapas de Sueño,” Tesis de licenciatura, Universidad Del Valle de Guatemala, 2021.
 - [8] L. A. Guerrero, “Diseño e Implementación de un Sistema Generador de Pulsos Binaurales para el Estudio del Impacto de los Pulsos en la Calidad de Sueño,” Tesis de licenciatura, Universidad Del Valle de Guatemala, 2021.

- [9] D. A. Alegría, “Estudio del Impacto de un Sistema Integrado de Detección de Patrones de Señales Biomédicas y de Generación de Pulsos Binaurales en la Calidad del Sueño de las Personas,” Tesis de licenciatura, Universidad Del Valle de Guatemala, 2021.
- [10] K. Ohlmann, M. O’Sullivan, P. Berryman y E. Lukes, “The Costs of Short Sleep,” *AAOHN Journal*, vol. 57, n.º 9, págs. 381-387, 2009. DOI: [10.1177/216507990905700905](https://doi.org/10.1177/216507990905700905).
- [11] C. A. Czeisler, “Duration, timing and quality of sleep are each vital for health, performance and safety,” *Sleep Health*, vol. 1, n.º 1, págs. 5-8, 2015, ISSN: 2352-7218. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2014.12.008>, dirección: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352721814000138>.
- [12] L. Sörnmo y P. Laguna, *Bioelectrical signal processing in cardiac and neurological applications*. Elsevier Inc., 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-437552-9.X5000-4>.
- [13] Shakshi y R. Jaswal, “Brain Wave Classification and Feature Extraction of EEG Signal by Using FFT on Lab View,” *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 3, n.º 7, págs. 1208-1212, 2016, ISSN: 2395-0056. dirección: <https://www.irjet.net/archives/V3/i7/IRJET-V3I7222.pdf>.
- [14] Koudelková, Zuzana y Strmiska, Martin, “Introduction to the identification of brain waves based on their frequency,” *MATEC Web Conf.*, vol. 210, págs. 1-4, 2018. DOI: [10.1051/mateconf/201821005012](https://doi.org/10.1051/mateconf/201821005012), dirección: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201821005012>.
- [15] B. S. Inc., *Disp. Gen-purp electrode 100/pk | EL503, EL503-10 | Consumable, Education, Research | BIOPAC*. dirección: <https://www.biopac.com/product/general-purpose-electrodes/>.
- [16] B. S. Inc., *EEG: Electroencephalography | Neuromarketing | BIOPAC*. dirección: <https://www.biopac.com/application/eeg-electroencephalography/>.
- [17] T. M. P. V. Lab, *Biomedical Signals Acquisition*, 2005. dirección: https://www.medicine.mcgill.ca/physio/vlab/biomed_signals/eeg_n.htm#:~:text=The%20recorded%20waveforms%20reflect%20the,amplitude%20and%20the%20slowest%20waves.
- [18] OpenBCI, *Cyton Board*, 2023. dirección: <https://docs.openbci.com/Cyton/CytonLanding/>.
- [19] O. Petrovich, “The Effects of Binaural Beats on Emotion and Cognition,” Tesis de maestría., University of South Florida St. Petersburg, mar. de 2018.
- [20] J. Zhou, D. Liu, X. Li, J. Ma, J. Zhang y J. Fang, “Pink noise: Effect on complexity synchronization of brain activity and sleep consolidation,” *Journal of Theoretical Biology*, vol. 306, págs. 68-72, 2012, ISSN: 0022-5193. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2012.04.006>, dirección: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022519312001798>.
- [21] M. Garcia-Argibay, M. A. Santed y J. M. Reales, “Efficacy of binaural auditory beats in cognition, anxiety, and pain perception: a meta-analysis,” *Psychological research*, vol. 83, n.º 2, págs. 357-372, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00426-018-1066-8>, dirección: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30073406/>.

- [22] J. D. Lane, S. J. Kasian, J. E. Owens y G. R. Marsh, “Binaural Auditory Beats Affect Vigilance Performance and Mood,” *Physiology & Behavior*, vol. 63, n.º 2, págs. 249-252, 1998, ISSN: 0031-9384. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0031-9384\(97\)00436-8](https://doi.org/10.1016/S0031-9384(97)00436-8), dirección: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031938497004368>.
- [23] H. Wahbeh, C. Calabrese y H. Zwickey, “Tecnología de latidos binaurales en humanos: un estudio piloto para evaluar los efectos neuropsicológicos, fisiológicos y electroencefalográficos,” *J Altern Complement Med*, vol. 13, n.º 2, págs. 199-206, 2007. DOI: [10.1089/acm.2006.6196](https://doi.org/10.1089/acm.2006.6196).
- [24] T. Ortiz, A. Martínez, A. Fernández, F. Maestu, P. Campo y R. Hornero, “Impacto de la estimulación auditiva a una frecuencia de 5 Hz en la memoria verbal,” *Actas Esp Psiquiatr*, vol. 36, n.º 6, págs. 307-313, 2008.
- [25] E. I. Ariño, “Análisis bioestadístico de señales EEG registradas durante la realización de una tarea auditiva para el estudio de su viabilidad en la ayuda al diagnóstico de la esquizofrenia,” Tesis de mtría., Universidad de Valladolid, jul. de 2016.
- [26] M. L. Bautista-Díaz, E. Victoria-Rodríguez, L. B. Vargas-Estrella y C. C. Hernández-Chamosa, “Pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas: su clasificación, objetivos y características,” *Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, vol. 9, n.º 17, págs. 78-81, dic. de 2020. DOI: [10.29057/icsa.v9i17.6293](https://doi.org/10.29057/icsa.v9i17.6293), dirección: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/ICSA/article/view/6293>.
- [27] E. Flores-Ruiz, M. G. Miranda-Navales y M. Á. Villasís-Keever, “El protocolo de investigación VI: cómo elegir la prueba estadística adecuada. Estadística inferencial,” *Revista alergia México*, vol. 64, n.º 3, págs. 364-370, 2017. DOI: <https://doi.org/10.29262/ram.v64i3.304>, dirección: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2448-91902017000300364&script=sci_arttext.
- [28] E. Martínez, T. Martín y A. Ureña, “Análisis de sentimientos,” *SINAI - Sistemas Inteligentes de Acceso a la Información*, dirección: http://timm.ujaen.es/wp-content/uploads/2014/03/analisis_de_sentimientos.pdf.
- [29] L. of Congress, *Broadcast WAVE Audio File Format*. dirección: <https://www.loc.gov/preservation/digital/formats/fdd/fdd000356.shtml>.
- [30] A. C. Co., *AccelBrainBeat*, 2017. dirección: <https://accel-brain.co.jp/>.
- [31] J. Robert y M. Webbie, *Pydub*, 2018. dirección: <http://pydub.com/>.
- [32] M. Geier, *Python Sounddevice*, 2023. dirección: <https://python-sounddevice.readthedocs.io/en/0.4.6/>.
- [33] B. Bechtold y M. Geier, *Python Soundfile*, 2022. dirección: <https://python-soundfile.readthedocs.io/en/0.11.0/>.
- [34] M. Schupp y C. D. Hanning, “Physiology of Sleep,” *British Journal of Anaesthesia*, vol. 3, n.º 3, págs. 69-74, 2003. DOI: [10.1093/bjacepd/mkg069](https://doi.org/10.1093/bjacepd/mkg069).
- [35] OpenBCI, *GUI Widget Guide - Default Node Placement*, 2023. dirección: <https://docs.openbci.com/Software/OpenBCISoftware/GUIWidgets/>.
- [36] D. Plass-Oude Bos, “EEG-based Emotion Recognition,” *The Influence of Visual and Auditory Stimuli*, ene. de 2006.

- [37] *Mental Arithmetic Test - a simple mental arithmetic test.* dirección: <https://olimato.it/mat/>.
- [38] *Toulouse Pieron test online.* dirección: https://metodorf.com/tests/bourdon/tuluz_peron.php.
- [39] O. A. Fuentes, “Aplicación de técnicas de aprendizaje automático y reconocimiento de patrones a señales bioeléctricas para el estudio del impacto de los pulsos binaurales en el estado de ánimo, concentración y calidad del sueño de las personas,” Tesis de licenciatura sin publicar, Universidad Del Valle de Guatemala, 2023.
- [40] J. D. Mayer e Y. N. Gaschke, “The experience and meta-experience of mood,” *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 55, n.º 1, págs. 102-111, 1988. DOI: [10.1016/S0031-9384\(97\)00436-8](https://doi.org/10.1016/S0031-9384(97)00436-8).

15.1. Protocolo de investigación

A continuación se presenta el inicio del protocolo de investigación utilizado para la ejecución de la experimentación para el estudio de concentración y estado de ánimo como para el estudio del sueño. El documento completo se encuentra en el siguiente enlace: https://drive.google.com/file/d/1D-p7-o1RY8_wjB0VhLKjKBZS-2KSByRB/view?usp=sharing

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Análisis cualitativo y cuantitativo del impacto de los pulsos
binaurales en el estado de ánimo, concentración y calidad del
sueño de las personas**

Protocolo de investigación

Guatemala,

2024

La calidad del sueño de las personas es un factor primordial para el bienestar general del ser humano. Este permite mantener un estilo de vida saludable, manteniendo un mejor control del estado de ánimo, así como, mayor concentración en las tareas del día a día. Sin embargo, cada vez más personas se ven afectadas por problemas relacionados al sueño o derivados de este problema como estrés, ansiedad, tensión, entre otras. A pesar que ya existen soluciones que permiten disminuir este problema como el uso de productos farmacéuticos, se necesita explorar otras alternativas que le permita a las personas poder mejorar su calidad de vida de una manera no invasiva como lo es el uso de pulsos binaurales.

En este protocolo se propone la realización de una investigación para analizar el impacto de los pulsos binaurales en la calidad del sueño, estado de ánimo y concentración de las personas. Debido a que ya se ha seguido esta línea de investigación, se va a tomar como punto de partida el software y los dispositivos desarrollados en fases anteriores, modificándolos a las nuevas necesidades del estudio y usándolos para poder realizar las pruebas con una mayor cantidad de muestras. Con ello, se busca determinar el impacto que tienen estos pulsos binaurales por medio de un análisis cualitativo y cuantitativo.

15.2. Consentimiento informado

A continuación se presenta el consentimiento informado tanto para el estudio de concentración y estado de ánimo como para el estudio del sueño. Los consentimientos informados fueron usados para el proceso de reclutamiento y participación en el proceso de experimentación del estudio. Se presenta primero el consentimiento informado para el estudio de concentración y estado de ánimo, y después para el estudio del sueño.



CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPACIÓN EN INVESTIGACIÓN

Este documento tiene el propósito de explicar todos los aspectos relacionados a la utilización y manejo de la información que se recabe durante las sesiones de evaluación y recolección de datos. Además, el de informar y solicitar su autorización para participar en el presente estudio de investigación. Léalo atentamente y consulte con el encargado de la investigación todas las dudas que tenga al respecto.

Información sobre la investigación

Nombre del estudio: Análisis cualitativo y cuantitativo del impacto de los pulsos binaurales en el estado de ánimo, concentración y calidad del sueño de las personas

Lugar y fecha: Guatemala, agosto de 2023

Número de participantes: 40

Encargados de la investigación: Margareth Marylú Vela Garcia y Oscar Alexander Fuentes López, estudiantes del programa de Ingeniería Mecatrónica en la Universidad Del Valle de Guatemala

Propósito y objetivo del estudio

El presente estudio de investigación tiene como objetivo analizar el impacto en el estado de ánimo y concentración de un sistema de generación de pulsos binaurales. Los resultados de este estudio permitirán obtener información preliminar sobre las terapias de neuro-retroalimentación y cómo estas pueden ser útiles para mitigar problemas emocionales como estrés, ansiedad, tensión, entre otras. Esto es de mucha importancia ya que dependiendo del estado de ánimo se puede presentar desinterés ante eventos de la vida cotidiana, falta de cognición, daño en las relaciones personales hasta llegar al punto de generar dolores musculares.

Procedimiento

Las personas que decidan participar en la investigación recibirán un trato digno, respetuoso y atento durante todo el procedimiento, recibiendo asesoría de personal capacitado. Si usted acepta participar en este estudio, se le solicitará la utilización de electrodos de superficie no invasivos, los cuales permiten detectar actividad eléctrica del cerebro mientras se le aplican diversas pruebas para observar su concentración o determinar su estado de ánimo.

A continuación, se detalla la estructura del protocolo de evaluación y recolección de datos:

1. El estudio consta de la realización de un electroencefalograma básico del cual se recolectarán los datos antes, durante y después de las pruebas.
2. Antes de realizar el procedimiento de recolección de datos se realizará una evaluación conductual sobre el estado de ánimo y/o concentración.
3. El procedimiento consiste en la medición de la actividad eléctrica del cerebro a través de electrodos de superficie no invasivos, la colocación de audífonos inalámbricos para la escucha de los pulsos binaurales con un volumen moderado y ajustable según la necesidad tal que esto no represente incomodidades al participante.
4. Se realizarán diversas pruebas para determinar el estado de ánimo y/o nivel de concentración.
5. Al finalizar se realizará una encuesta y evaluación posterior sobre los efectos percibidos durante el estudio.

Uso y confidencialidad de los datos

Si usted decide participar en el estudio, se le garantiza que toda la información proporcionada será manejada con absoluta confidencialidad. Sus datos personales no serán publicados ni revelados a nadie. El encargado de la investigación se hace responsable de la custodia y privacidad de estos, y del riguroso cumplimiento del secreto profesional en el uso y manejo de la información obtenida. Los datos que se obtengan de su participación serán utilizados únicamente con fines científicos y académicos por los encargados de la investigación dentro del programa de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Del Valle de Guatemala.

Riesgos poco frecuentes asociados a su participación en el estudio

A pesar de la adecuada selección de la técnica y el proceso de investigación detrás de este estudio, se pueden presentar efectos no deseados. Entre estos efectos no deseados asociados al procedimiento se puede presentar:

- Irritación en la piel por el contacto de los electrodos la cuál desaparecería en minutos o máximo una hora.
- Leve dolor de cabeza.

En el caso de presentarse alguna complicación asociada o no asociada al procedimiento el estudio será interrumpido de forma inmediata.

Beneficios asociados a su participación en el estudio

La falta de concentración es un factor que puede alterar de diversas maneras la calidad de vida de las personas provocando disminución de la capacidad de atención y rendimiento que impide la realización de las tareas cotidianas, dificultad para dormir o sensaciones inusuales de cansancio. Su participación en este estudio es muy valiosa ya que los resultados servirán para explorar problemas relacionados a la concentración a través de terapias de neuro-retroalimentación basada en pulsos binaurales. Con esta terapia se pretende ayudar a personas que presenten regularmente problemas con algunas emociones como estrés, ansiedad, tensión, entre otros.

Voluntariedad

Su participación es voluntaria. Si usted decide no participar o desea retirarse del estudio en cualquier momento, aun cuando haya iniciado la evaluación, puede hacerlo sin ningún problema.

Declaración de consentimiento de participación

Yo, _____,
he leído el presente documento de consentimiento informado y he comprendido las explicaciones en él facilitadas acerca de la participación en la investigación. También he podido resolver todas las dudas y preguntas que he planteado al respecto. Además, comprendo que, en cualquier momento y sin necesidad de dar ninguna explicación, puedo revocar el consentimiento que ahora presento. Finalmente, he sido informado/a de que mis datos personales serán protegidos y serán utilizados únicamente con fines científicos y académicos. Tomando todo lo anterior en consideración y en tales condiciones, CONSIENTO participar en la investigación y que los datos que se deriven de mi participación sean utilizados para cubrir los objetivos especificados en el documento.

Declaración del encargado de la investigación

Yo, _____,
declaro no tener ningún conflicto de intereses y que he explicado la naturaleza y el objetivo de la investigación, y que el/la participante entiende en qué consiste su colaboración. He leído y explicado adecuadamente las partes del consentimiento informado. Así mismo, todas las preguntas que el/la participante ha hecho han sido contestadas de forma adecuada.

Fecha: _____ / _____ / _____

Firma del Participante

DPI _____

Firma del Investigador

DPI _____

Firma del Asesor

DPI _____

Contacto

Si tiene dudas puede comunicarse con:

Investigadores

Margareth Marylú Vela Garcia

Teléfono: +502 5944- 6898

Correo electrónico: vel19458@uvg.edu.gt

Oscar Alexander Fuentes López

Teléfono: +502 4196-4087

Correo electrónico: fue19816@uvg.edu.gt

Asesor

Dr. Luis Alberto Rivera Estrada

Departamento de Ingeniería Electrónica,

Mecatrónica y Biomédica

Universidad Del Valle de Guatemala

Correo electrónico: larivera@uvg.edu.gt



CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPACIÓN EN INVESTIGACIÓN

Este documento tiene el propósito de explicar todos los aspectos relacionados a la utilización y manejo de la información que se recabe durante las sesiones de evaluación y recolección de datos. Además, el de informar y solicitar su autorización para participar en el presente estudio de investigación. Léalo atentamente y consulte con el encargado de la investigación todas las dudas que tenga al respecto.

Información sobre la investigación

Nombre del estudio: Análisis cualitativo y cuantitativo del impacto de los pulsos binaurales en el estado de ánimo, concentración y calidad del sueño de las personas

Lugar y fecha: Guatemala, agosto de 2023

Número de participantes: 20

Encargados de la investigación: Margareth Marylú Vela Garcia y Oscar Alexander Fuentes López, estudiantes del programa de Ingeniería Mecatrónica en la Universidad Del Valle de Guatemala

Propósito y objetivo del estudio

El presente estudio de investigación tiene como objetivo analizar el impacto en la calidad de sueño de un sistema de generación de pulsos binaurales integrado a un clasificador automático de etapas de sueño. Los resultados de este estudio permitirán obtener información preliminar sobre las terapias de neuroretroalimentación y cómo estas pueden ser útiles para mitigar los problemas relacionados al sueño. Esto es de mucha importancia ya que la falta de sueño está asociada con importantes problemas médicos, psicológicos, sociales y económicos, los cuales pueden afectar el estado de ánimo y cognición de las personas.

Procedimiento

Las personas que decidan participar en la investigación recibirán un trato digno, respetuoso y atento durante todo el procedimiento, recibiendo asesoría de personal capacitado. Si usted acepta participar en este estudio, se le solicitará la utilización de un casco con electrodos de superficie no invasivos, los cuales permiten detectar actividad eléctrica del cerebro mientras usted duerme.

A continuación, se detalla la estructura del protocolo de evaluación y recolección de datos:

1. El estudio consta de una polisomnografía básica a través de un electroencefalograma, el cual se realiza durante la noche.
2. Antes de realizar el procedimiento de recolección de datos se realizará una evaluación conductual sobre la concepción del sueño.
3. El procedimiento consiste en la medición de la actividad eléctrica del cerebro a través de electrodos de superficie no invasivos, la colocación de audífonos inalámbricos para la escucha de los pulsos binaurales con un volumen moderado y ajustable según la necesidad tal que esto no represente incomodidades al participante.
4. Durante la recepción de la actividad eléctrica un clasificador automático predice la etapa del sueño y genera pulsos binaurales según la etapa que se detecte.
5. Al finalizar se realizará una encuesta y evaluación posterior sobre los efectos percibidos durante el estudio.

Uso y confidencialidad de los datos

Si usted decide participar en el estudio, se le garantiza que toda la información proporcionada será manejada con absoluta confidencialidad. Sus datos personales no serán publicados ni revelados a nadie. El encargado de la investigación se hace responsable de la custodia y privacidad de estos, y del riguroso cumplimiento del secreto profesional en el uso y manejo de la información obtenida. Los datos que se obtengan de su participación serán utilizados únicamente con fines científicos y académicos por los encargados de la investigación dentro del programa de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Del Valle de Guatemala.

Riesgos poco frecuentes asociados a su participación en el estudio

A pesar de la adecuada selección de la técnica y el proceso de investigación detrás de este estudio, se pueden presentar efectos no deseados. Entre estos efectos no deseados asociados al procedimiento se puede presentar:

- Irritación en la piel por el contacto con el gorro que contiene los electrodos, la cual desaparecería en horas.
- Dificultad para conciliar el sueño.
- Leve dolor de cabeza.

En el caso de presentarse alguna complicación asociada o no asociada al procedimiento el estudio será interrumpido de forma inmediata.

Beneficios asociados a su participación en el estudio

La deficiencia crónica de sueño, definida como el estado inadecuado o mínimo de sueño, es un factor determinante e infravalorado en lo que concierne al estado de salud, afectando de forma directa la longitud y calidad de vida de las personas. Su participación en este estudio es muy valiosa ya que los resultados servirán para explorar el tratamiento de trastornos de sueño a través de terapias de neuro-retroalimentación basada en pulsos binaurales. Con esta terapia se pretende ayudar a personas que tienen dificultad para conciliar el sueño y/o con sueño no reparador.

Voluntariedad

Su participación es voluntaria. Si usted decide no participar o desea retirarse del estudio en cualquier momento, aun cuando haya iniciado la evaluación, puede hacerlo sin ningún problema.

Declaración de consentimiento de participación

Yo, _____, he leído el presente documento de consentimiento informado y he comprendido las explicaciones en él facilitadas acerca de la participación en la investigación. También he podido resolver todas las dudas y preguntas que he planteado al respecto. Además, comprendo que, en cualquier momento y sin necesidad de dar ninguna explicación, puedo revocar el consentimiento que ahora presento. Finalmente, he sido informado/a de que mis datos personales serán protegidos y serán utilizados únicamente con fines científicos y académicos. Tomando todo lo anterior en consideración y en tales condiciones, CONSIENTO participar en la investigación y que los datos que se deriven de mi participación sean utilizados para cubrir los objetivos especificados en el documento.

Declaración del encargado de la investigación

Yo, _____, declaro no tener ningún conflicto de intereses y que he explicado la naturaleza y el objetivo de la investigación, y que el/la participante entiende en qué consiste su colaboración. He leído y explicado adecuadamente las partes del consentimiento informado. Así mismo, todas las preguntas que el/la participante ha hecho han sido contestadas de forma adecuada.

Fecha: _____ / _____ / _____

Firma del Participante

DPI _____

Firma del Investigador

DPI _____

Firma del Asesor

DPI _____

Contacto

Si tiene dudas puede comunicarse con:

Investigadores

Margareth Marylú Vela Garcia

Teléfono: +502 5944- 6898

Correo electrónico: vel19458@uvg.edu.gt

Oscar Alexander Fuentes López

Teléfono: +502 4196-4087

Correo electrónico: fue19816@uvg.edu.gt

Asesor

Dr. Luis Alberto Rivera Estrada

Departamento de Ingeniería Electrónica,
Mecatrónica y Biomédica

Universidad Del Valle de Guatemala

Correo electrónico: larivera@uvg.edu.gt

API: Conocido por sus siglas en inglés (*Application Programming Interfaces*) es un conjunto de protocolos que sirven para la comunicación entre dos aplicaciones de *software*. [31](#)

Crossfade: Acción que permite reproducir una secuencia de clips de audio de forma que pasa gradualmente de uno a otro clip en lugar de realizar una pausa silenciosa. [22-24](#)

Dongle: Pequeño dispositivo que permite la transferencia inalámbrica de datos a otros dispositivos. [15](#), [33](#)

GUI: Interfaz de usuario gráfica que utiliza un conjunto de imágenes y objetos gráficos para representar la información. [32](#)

Kernel: Software que se encarga de mediar los procesos de usuario y el hardware disponible de la máquina. [33](#)