



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:**

**DESARROLLO DE PROTOTIPO EEG PORTÁTIL USANDO EL CHIP NEUROSKY,  
PARA EL ANÁLISIS DE LA COGNICIÓN CANINA EN EDADES DIFERENTES: UN  
ESTUDIO EN PITBULLS**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO:**

**INGENIERÍA EN BIOMÉDICA**

**PRESENTADO POR:**

**21911014 CLAUDIA RASHELL VILLALOBOS PANCHAME**

**CAMPUS: SAN PEDRO SULA, ABRIL 2024**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por nunca soltarme de su mano a lo largo de este proceso para convertirlo al final en un logro hecho realidad, durante esta etapa de la universidad me llenó de sabiduría paciencia y retos para convertirme en lo que soy y lo que seré en un futuro.

A mi tía Claudia Arreguin, la persona por la cual estoy aquí culminando una meta más en mi vida, por ser esa persona fuerte, luchadora, y sobre todo con un gran corazón noble, una inspiración y ejemplo a seguir.

A mis padres, Isabel Panchame, Osman Villalobos, gracias por cada esfuerzo que hacen por nosotras, por los consejos, por confiar en mí y en este proceso, por nunca dejarme sola y ser un pilar de apoyo siempre.

A mi tía, Carmen Panchame, por su apoyo incontable en nuestra familia, por ser esa mujer que me ha demostrado lo que es salir adelante siempre, la que me ha enseñado que lo que se pide de corazón será dado.

A mi abuelo José Panchame, gracias papito sé que no estas físicamente pero tu esencia siempre seguirá en mí, este logro te lo mando al cielo, te extraño. Mil gracias por cada recuerdo que dejaste.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por ese apoyo incondicional durante toda mi vida, por todas las bendiciones que siempre me presento y sigue presentándome, por esos empujoncitos cuando yo sentía que no podía más.

A mis padres, Isabel Panchame, Osman Villalobos, gracias por cada esfuerzo que hacen por mí, gracias por confiar, gracias por siempre estar y darme todo lo que he necesitado espero algún día poder recompensar todo lo que han hecho, les prometo seguir dando todo lo mejor de mí.

A mis hermanas, Antonella Villalobos, Osmar Villalobos, gracias por esas risas que nunca faltan antes de irnos a dormir, son un motor clave por la cual quiero ser alguien exitosa en esta vida para que nunca les falte nada.

A mis amistades, la verdadera razón de mis alegrías durante estos años en la universidad, Arlin, Brianna, Edgardo, Isis, Katherine, Moisés. Gracias infinitas gracias sin ustedes esta etapa no hubiera sido la misma, llenaron mi vida de experiencias.

A mi mejor amiga, Larissa Martínez, gracias por tu sincera amistad, por apoyarme siempre, por estar cuando más lo necesite, por cada una de las risas que nunca nos faltó, te amo.

A Marco Palma, gracias por tu amor y apoyo durante esta etapa, por siempre estar para mí y buscar soluciones donde yo no las veía, gracias por ser un rayito de luz en mi vida.

A mis participantes de la tesis que sin ellos esto no hubiera sido posible, Mulán y Wanda.

A los docentes que me formaron durante toda mi carrera universitaria que de verdad se tomaron con amor este trabajo.

A mi asesor de tesis, Manuel Gamero, que con mucho amor tomó de su tiempo para acompañarme en esta travesía, me apoyó, me aconsejó y con su paciencia inigualable para explicarme cada cosa, las palabras quedan cortas al decirle gracias por todo lo que nos pudo enseñar en tan poco tiempo.

## **EPÍGRAFE**

**"EL FUTURO PERTENECE A QUIENES CREEN EN LA BELLEZA DE SUS SUEÑOS."**

**- ELEANOR ROOSEVELT**

## RESUMEN EJECUTIVO

Este proyecto explora el uso de la tecnología EEG portátil, específicamente a través del chip NeuroSky, para estudiar la cognición canina. La elección del dispositivo MindFlex, originalmente destinado para juegos, se fundamenta en su accesibilidad y adaptabilidad para el uso con animales.

El principal objetivo fue evaluar la capacidad del chip NeuroSky para capturar y procesar señales electroencefalográficas en canes de diferentes edades, a fin de investigar posibles diferencias cognitivas relacionadas con la edad.

El estudio incluyó la adaptación del dispositivo MindFlex para su uso en dos canes, uno joven y otro adulto. Se diseñó y programó un prototipo que permitiera la captura, el procesamiento y la transmisión inalámbrica de las señales EEG. Se utilizaron técnicas de procesamiento de señales para analizar los datos, y se compararon los resultados mediante análisis estadístico en el software Minitab.

Los resultados abarcan el diseño esquemático del prototipo, la programación para la obtención y transmisión inalámbrica de las señales, y finalmente la comparación estadística utilizando el software Minitab.

Las conclusiones indican que el prototipo desarrollado con el chip NeuroSky y otros componentes para la obtención de las señales fue capaz de adquirir y procesar las señales electroencefalográficas en dos canes de diferentes edades. Se observaron diferencias significativas en las señales obtenidas por cada uno, lo que sugiere una necesidad de una muestra más amplia para ampliar la información obtenida.

## **ABSTRAC**

This project explores the use of portable EEG technology, specifically through the NeuroSky chip, to study canine cognition. The choice of the MindFlex device, originally intended for gaming, is based on its accessibility and adaptability for use with animals.

The main objective was to evaluate the NeuroSky chip's ability to capture and process electroencephalographic signals in dogs of different ages, in order to investigate potential age-related cognitive differences.

The study included adapting the MindFlex device for use in two dogs, one young and one adult. A prototype was designed and programmed that allowed for the capture, processing, and wireless transmission of the EEG signals. Signal processing techniques were used to analyze the data, and the results were compared using statistical analysis in Minitab software.

The results encompass the schematic design of the prototype, the programming for the acquisition and wireless transmission of the signals, and finally the statistical comparison using Minitab software.

The conclusions indicate that the prototype developed with the NeuroSky chip and other components for signal acquisition was capable of acquiring and processing electroencephalographic signals in two dogs of different ages. Significant differences were observed in the signals obtained from each, suggesting a need for a larger sample to expand the information obtained.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN .....	14
II.	ESTADO DEL ARTE.....	16
2.1	ANTECEDENTES.....	16
2.2	PROBLEMÁTICA.....	32
2.3	IMAGEN INTEGRADORA.....	34
2.4	TABLA DE LIMITACIONES .....	35
III.	OBJETIVOS.....	40
2.2	OBJETIVO GENERAL.....	40
3.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	40
IV.	MÉTODOS.....	41
4.1	ENFOQUE.....	41
4.2	OBJETIVO DEL MÉTODO.....	42
4.2	VARIABLES DE INVESTIGACIÓN .....	43
4.2.1	VARIABLE INDEPENDIENTE .....	43
4.2.2	VARIABLES DEPENDIENTES.....	43
4.3	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	45
4.4	RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO.....	48
4.4.1	POBLACIÓN Y MUESTRA .....	48
4.4.2	MATERIALES.....	48
4.4.3	METODOLOGÍA DEL ESTUDIO .....	49
4.4.4	FASE DE DISEÑO .....	50
4.4.5	FASE DE DESARROLLO.....	50
4.4.6	FASE DE INTEGRACIÓN .....	51
4.4.7	VALIDACIÓN DEL DISEÑO .....	51
4.4.8	VALIDACIÓN DEL DESARROLLO.....	51
4.4.9	VALIDACIÓN DE INTEGRACIÓN .....	51
4.4.10	PROCESO DEL DESARROLLO DEL PROTOTIPO .....	52
4.5	IMAGEN DEL PROCESO .....	53
4.6	MÉTRICAS DE EVALUACIÓN.....	55
4.6.1	BANDAS FRECUENCIA .....	55
4.6.2	EDAD DE LOS CANES.....	55
4.6.7	LATENCIA DE COMUNICACIÓN .....	55

4.7 MÉTRICAS DE VALIDACIÓN .....	56
4.7.1 ANÁLISIS DE VARIANZA ANOVA.....	56
4.7.2 GRÁFICO DE VALORES.....	56
4.7.3 TIEMPO.....	56
V. RESULTADOS .....	57
5.1 DEFINICIÓN DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PROTOTIPO.....	57
5.1.1 SELECCIÓN DE MATERIALES.....	57
5.1.1.1 ARDUINO UNO.....	57
5.1.1.2 MÓDULO BLUETOOTH HC-05 .....	58
5.1.1.3 MINDFLEX .....	59
5.2 DISEÑO DEL SISTEMA.....	59
5.2.1 DISEÑO ESQUEMÁTICO DEL PROTOTIPO .....	60
5.2.2 DISEÑO FÍSICO DEL PROTOTIPO.....	61
5.3 ADQUISICIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL CHIP NEUROSKY Y CONEXIÓN INICIAL CON ARDUINO UNO .....	62
5.3.1 CONFIGURACIÓN DEL MINDFLEX .....	62
5.3.2 VERIFICACIÓN DE PRUEBAS DE ONDAS CEREBRALES.....	66
5.4 INCORPORACIÓN DEL MÓDULO BLUETOOTH CON ARDUINO UNO E INTEGRACIÓN DEL CHIP NEUROSKY.....	67
5.4.1 DISEÑO CONEXIONES ELÉCTRICAS .....	68
5.5 PRUEBAS Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA .....	69
5.5.1 DATOS DE LA MUESTRA EVALUADA .....	69
5.5.2 RECOLECCIÓN DE DATOS .....	69
5.5.3 PROGRAMACIÓN EN ARDUINO MAESTRO.....	70
5.5.4 PROGRAMACIÓN ARDUINO ESCLAVO.....	71
5.6 ANÁLISIS DE LAS SEÑALES OBTENIDAS .....	72
5.7 TRANSFORMADA DE FOURIER EN MATLAB .....	74
5.7.1 SEGMENTACIÓN DE LAS SEÑALES.....	76
5.8 ANÁLISIS DE RESPUESTAS.....	76
5.8.1 ESTADÍSTICAS DE COMPARACIÓN EN LOS CANES .....	78
5.8.2 EVALUACIÓN COMPARATIVA .....	78
5.9 COMPARATIVAS ENTRE EL CAN MAYOR Y MENOR (MINITAB).....	79
5.9.1 ESTADÍSTICAS EN MINITAB (ONDAS PREDOMINANTES EN CADA ACTIVIDAD).....	93
5.9.2 RENDIMIENTO DEL SISTEMA.....	99

5.9.3 ÁREAS DE MEJORA .....	99
VI. DISCUSIÓN .....	101
VII. CONCLUSIONES .....	102
VIII. REFERENCIAS .....	103
IX. ANEXOS .....	107

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Imagen Integradora.....	34
Ilustración 2 Variables de Investigación.....	44
Ilustración 3 Metodología en V.....	50
Ilustración 4 Etapa 1 – Montaje del prototipo.....	53
Ilustración 5 – Etapa 2 Adquisición, validación y almacenamiento en la nube.....	54
Ilustración 6 Etapa 3 – Análisis estadístico.....	54
Ilustración 7 Diseño del sistema .....	60
Ilustración 8. Diseño Esquemático .....	61
Ilustración 9. Conexión Chip NeuroSky al Arduino.....	62
Ilustración 10. Identificación de pines T y R.....	63
Ilustración 11. Conexión pines Rx y GND del Arduino .....	63
Ilustración 12. Descarga y código de la librería Brain.....	64
Ilustración 13. Data rangos cerebrales .....	65
Ilustración 14. Librerías del Software Processing .....	66
Ilustración 15. Interconexiones Módulos Bluetooth con Arduino .....	68
Ilustración 16. Colocación del MindFlex en el Canino.....	70
Ilustración 17. Código para captura y envío de datos.....	71
Ilustración 18. Código para la captura de las señales enviadas por el Maestro.....	72
Ilustración 19. Señales de EEG captadas en el can mayor - Comiendo .....	73
Ilustración 20. Visualización de ondas en el can Menor - Comiendo.....	74
Ilustración 21. Inicialización código en MATLAB .....	75
Ilustración 22. Cálculo de la FFT.....	75
Ilustración 23. Segmentación de las señales.....	76
Ilustración 24. Captura de señales can mayor .....	77

Ilustración 25. Señales del Can Mayor durante la actividad: Caminar.....	78
Ilustración 26. Gráfica de intervalos del can mayor durante la actividad – Comer .....	81
Ilustración 27. Gráfica de Intervalos del can menor - comer .....	83
Ilustración 28. Prueba de Toma de señales Canino Menor.....	84
Ilustración 29. Gráfica de Intervalos del can mayor - caminata.....	86
Ilustración 30. Gráfico de intervalos del can menor – caminata.....	88
Ilustración 31. Gráfico de intervalos can mayor – memorización.....	90
Ilustración 32. Gráfico de intervalos can menor en la actividad de memorización.....	92
Ilustración 33. Gráfico de valores individuales High beta CA/CP – Comer.....	94
Ilustración 34. Gráfico de valores individuales Low beta CA/CP – Comer.....	96
Ilustración 35. Gráfico de valores individuales High Beta en CP/CA – caminata.....	97
Ilustración 36. Gráfico de valores individuales High Gamma en CP/CA – Memorización .....	99

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Limitaciones De Estudio .....	35
Tabla 2 Objetivo del Método .....	42
Tabla 3 Operacionalización de variables .....	45
Tabla 4. Especificaciones Técnicas Arduino UNO.....	58
Tabla 5. Especificaciones Técnicas Modulo Bluetooth HC-05 .....	58
Tabla 6. Especificaciones técnicas del MindFlex .....	59
Tabla 7. Datos de los participantes.....	69
Tabla 8. Análisis de Varianza Can Mayor - Comer .....	80
Tabla 9. Medias del Can mayor – Comer.....	81
Tabla 10. Análisis de Varianza Can menor - Comer.....	82
Tabla 11. Medias del Can Menor – Comer.....	83
Tabla 12. Análisis de Varianza can mayor - caminata.....	85
Tabla 13. Media del can mayor - caminata.....	85
Tabla 14. Análisis de varianza can menor - caminata .....	87
Tabla 15. Media del can menor - caminata .....	87
Tabla 16. Análisis de varianza can mayor – memorización.....	89
Tabla 17. Media del can mayor – memorización.....	90

Tabla 18. Análisis de varianza can menor – memorización .....	91
Tabla 19. Media del can menor – memorización .....	92
Tabla 20. Estimación de diferencia (Actividad comer).....	94
Tabla 21. Resultados de pruebas en aplicación de T de 2 Muestras - comer .....	94
Tabla 22. Estimación de diferencia (Actividad comer).....	95
Tabla 23. Resultados de pruebas en aplicación de T de 2 Muestras - comer .....	95
Tabla 24. Estimación de diferencia (Actividad caminata) .....	96
Tabla 25. Resultados de pruebas en aplicación de T de 2 Muestras - caminata.....	97
Tabla 26. Estimación de diferencia (Actividad memorización).....	98
Tabla 27. Resultados de pruebas en aplicación de T de 2 Muestras - memorización .....	98

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 1. Canes con el prototipo portable.....	107
Anexo2. Gráfico de señales durante actividades .....	107

## I. INTRODUCCIÓN

Los métodos avanzados de control y comunicación, conocidos como tecnologías de interfaz cerebro-computadora (BCI), representan enfoques complejos. Ha sido objeto de estudio durante muchas décadas; sin embargo, se ha observado un uso más amplio de la tecnología BCI, con una investigación más detallada de sus capacidades. Esta inevitable evolución ha supuesto la apertura de una importante área de investigación, no sólo en el campo médico sino también en la industria (Bakaoukas et al., 2016).

La electroencefalografía (EEG) aún no se ha establecido como método diagnóstico complementario de rutina, debido principalmente a la falta de estandarización universal en la técnica de registro. Lo óptimo sería obtener un trazado en condiciones lo más naturales posible; sin embargo, la falta de colaboración por parte de los sujetos animales hace imperativa la aplicación de algún tipo de restricción.

La utilización de sujeción física puede generar artefactos originados por el movimiento, lo que justifica la necesidad de recurrir a restricciones químicas. No obstante, es importante destacar que los anestésicos, siendo agentes farmacológicos, pueden inducir alteraciones en el EEG. Esto se debe a su capacidad para aumentar la presión intracraneana, desencadenar movimientos musculares repentinos involuntarios e incluso inducir eventos convulsivos (Barros & Mesa, 2018).

La presente investigación se centrará en el desarrollo de un prototipo eficiente y ergonómico destinado a la medición de señales electroencefalográficas en caninos. Se realizará un análisis estadístico con el propósito de establecer comparaciones entre las señales obtenidas mediante el uso de un electroencefalograma (EEG) convencional y las captadas por el prototipo. El propósito de este estudio será contribuir a la investigación y mejora del diseño de equipos de EEG para estudios en caninos.

El documento se estructurará en ocho capítulos de la siguiente manera: en el capítulo II se abordará el estado del arte, presentando antecedentes de estudios previos relacionados con las señales electroencefalográficas de caninos y la implementación de un dispositivo EEG portátil, junto con la discusión de limitaciones y problemáticas

pertinentes. El capítulo III expondrá los objetivos de la investigación, mientras que el capítulo IV detallará el método utilizado para desarrollar el prototipo propuesto. En el capítulo VI se presentarán los resultados obtenidos a lo largo del estudio. En el capítulo VI se expondrá la discusión observada a través de la culminación de la investigación y finalmente, el capítulo VII mostrará las conclusiones de la investigación.

## II. ESTADO DEL ARTE

En la siguiente sección se presentará una serie de estudios previos que han explorado la adquisición de señales electroencefalográficas (EEG) en caninos, utilizando tanto interfaces cerebro-computadora (BCI) como equipos convencionales. Esta revisión abarcará desde las primeras investigaciones en el campo hasta las aplicaciones más recientes, destacando tanto los avances tecnológicos como los desafíos metodológicos enfrentados. Este análisis nos permitirá entender mejor cómo estas técnicas han evolucionado y qué impacto han tenido en el estudio del comportamiento y la cognición canina.

### 2.1 ANTECEDENTES

En el transcurso de esta investigación se realizó una revisión de la literatura científica centrada en el campo de estudio, enfocándose específicamente en las señales cerebrales caninas. Esta revisión cubrió una amplia gama de artículos académicos y científicos relacionados con el campo, con el objetivo de recopilar información relevante para el desarrollo del prototipo de EEG utilizando el chip NeuroSky y la tecnología MindFlex en caninos.

El avance tecnológico en este contexto ha dado lugar a la creación de nuevas herramientas y métodos, algunos de los cuales han transformado la forma en que se abordan los problemas y desafíos en diferentes campos. En particular, la combinación de la tecnología NeuroSky y MindFlex representa un enfoque innovador para capturar señales cerebrales en caninos, con el potencial de ofrecer soluciones más eficientes y menos invasivas en comparación con los métodos convencionales. Este prototipo se posiciona como una contribución significativa para mejorar la comprensión de las señales cerebrales en caninos y facilitar estudios más cómodos y éticos en esta área de investigación.

James et al., (2017) publicaron un artículo el cual titularon como «**Diagnostic Utility Of Wireless Video-Electroencephalography in Unsedated Dogs**». Para ellos la falta de consenso sobre la clasificación de eventos inusuales como convulsiones ha generado la necesidad de herramientas de diagnóstico específicas, siendo la video electroencefalografía (Video-EEG) una de las más destacadas. Este escenario los motivó

a la aplicación de una nueva técnica de video-EEG inalámbrico en canes no sedados, con el objetivo de esclarecer si los eventos de comportamiento inusual en estos animales eran de naturaleza epiléptica.

La investigación se realizó con ochenta y un canes de diversas razas y propiedad de clientes en cuatro instituciones, adoptó un enfoque retrospectivo de serie de casos. Los resultados revelaron que la electroencefalografía permitió o excluyó el diagnóstico de epilepsia en un 72% de los canes evaluados. De ese grupo 25 canes fueron confirmados con ataques epilépticos basados en descargas epileptiformes, mientras que en 33 canes no se presentó anomalías EEG asociadas con sus eventos objetivos

Este estudio obtuvo una tendencia significativa que emergió al observar que a medida que la frecuencia informada de los eventos objetivos que buscaban disminuía, las probabilidades de lograr un diagnóstico mediante EEG también disminuían de manera significativa. Cada aumento en la frecuencia de eventos se asoció con un incremento considerable en las probabilidades de lograr un diagnóstico. Curiosamente, la duración del registro del EEG no mostró asociación con la probabilidad de diagnóstico.

El estudio respaldó la eficacia del video-EEG inalámbrico en canes no sedados como una herramienta exitosa para diagnosticar eventos de comportamiento inusual, ofreciendo una valiosa contribución a la investigación del origen epiléptico de estos eventos en la población canina. Este enfoque proporciona una perspectiva clínica confiable y marca un avance significativo en la comprensión y diagnóstico de condiciones epilépticas en los caninos.

Los investigadores Kis et al., (2017) realizaron un estudio titulado como «***The interrelated effect of sleep and learning in dogs (Canis Familiaris); an EEG and behavioural study***». Se llevó a cabo un estudio centrado en canes domésticos, una especie que ofrece un modelo interesante debido a sus habilidades sociales análogas a las humanas y a su historia de domesticación. A pesar de que se han realizado investigaciones previas sobre el electroencefalograma (EEG) del sueño en canes, este estudio buscó examinar directamente la relación entre el sueño y la memoria en estos animales.

El método de polisomnografía canina invasiva se desarrolló para investigar las diferencias en el espectro EEG del sueño después de tareas de aprendizaje (CL- command Learnig) y no aprendizaje (NL- Non/Learning). Los resultados revelaron cambios significativos en la distribución de la potencia del EEG, específicamente un aumento en la actividad delta durante el sueño no REM después de la tarea de aprendizaje. Además, se observó un aumento de la actividad theta durante el sueño REM tras el aprendizaje.

Las grabaciones del sueño fueron evaluadas visualmente en intervalos de 20 segundos, siguiendo los criterios estándar basadas en la técnica de colocación de electrodos. La identificación y eliminación de artefactos se realizó de forma manual en segmentos de 4 segundos antes de llevar a cabo análisis automáticos adicionales en todas las grabaciones. Para calcular las densidades espectrales de potencia promedio en un rango de 1 Hz a 30 Hz, se empleó un algoritmo de Transformada Rápida de Fourier (FFT) de base mixta. Este algoritmo se aplicó a ventanas de 4 segundos con una superposición del 50%, utilizando cónicas de hanning en la señal de EEG en la derivación Fz-Cz.

Estos hallazgos sugieren que el aprendizaje influye en la fisiología del sueño en canes. Aunque no encontraron efectos en la macroestructura del sueño, los cambios en la actividad delta y theta indican una posible conexión entre el aprendizaje y las características del sueño en canes.

El estudio aportó información valiosa sobre la relación entre el sueño y la memoria en canes, contribuyendo a la comprensión más amplia de los procesos del sueño en diferentes especies. Dichos resultados abren nuevas perspectivas para explorar las funciones específicas del sueño en contextos más diversos.

Musteata et al., (2018) realizaron una investigación titulada como «***Influence of Stainless Needle Electrodes and Silver Disk Electrodes over the Interhemispheric Cerebral Coherence Value in Vigil Dogs***». La cual el objetivo del estudio fue caracterizar la coherencia interhemisférica en canes vigilantes mediante la utilización de electrodos de aguja y de disco para registrar los trazos del EEG. Encontraron que el tipo de electrodo influye en los valores registrados de coherencia interhemisférica. Aunque investigaciones anteriores han abordado el EEG en canes en diferentes estados, este estudio se centró

en canes vigilantes y comparó los resultados obtenidos con electrodos de aguja y de disco.

Los resultados mostraron que no había diferencias significativas en la actividad de fondo y en la frecuencia dominante entre los trazos de EEG adquiridos con ambos tipos de electrodos. Sin embargo, al analizar la coherencia cerebral en canes sujetos químicamente, se observó que con electrodos de aguja se obtenía una mayor coherencia interhemisférica en ciertos canales y bandas de frecuencia. Estos hallazgos sugieren que el tipo de electrodo puede influir en los valores de coherencia cerebral, especialmente en el canal frontal, lo cual podría tener implicaciones importantes en estudios de neurología canina y neurociencia aplicada.

Se destacó la importancia de analizar el canal frontal en estudios de envejecimiento y comportamiento en canes, ya que se observa una asociación entre las oscilaciones delta y theta en el lóbulo frontal y los procesos cognitivos. Dada la relación entre la atrofia del lóbulo frontal y el envejecimiento en canes, los resultados de este estudio podrían proporcionar información valiosa para comprender las disfunciones cognitivas en las primeras etapas del envejecimiento canino.

Se realizó la siguiente investigación por los autores Howell et al., (2018) **«Development of a minimally-invasive protocol for recording mismatch negativity (MMN) in Dog (Canis Familiaris) using electroencephalography (EEG)»**. Según los autores la investigación sobre la cognición canina ha experimentado un resurgimiento notable, lo que destaca la necesidad de comprender mejor las capacidades mentales de los canes. Actualmente, la evaluación del comportamiento es el principal indicador de la capacidad cognitiva de un perro, pero esta medida puede verse influenciada por diversos factores, como el entrenamiento, la motivación y las experiencias previas.

La investigación se centró en el uso del electroencefalograma (EEG) como una herramienta innovadora para abordar estas cuestiones en la cognición canina. Dentro del EEG, el potencial relacionado con eventos (ERP), específicamente el potencial MMN, ha surgido como un componente valioso de la forma de onda que registra cambios en la actividad cerebral después de la exposición a estímulos inesperados. Aunque la MMN se ha estudiado en varias especies, incluidos gatos, ratas y monos, no se había informado previamente en canes.

Se propusieron desarrollar un método para registrar potenciales relacionados con eventos endógenos, como el MMN, en canes, estableciendo así las bases para un enfoque novedoso en la investigación de la cognición canina. Aunque la respuesta conductual sigue siendo crucial, estos avances en la neurociencia conductual y el uso de ERP ofrecen una nueva perspectiva para comprender los procesos cognitivos en canes, superando las limitaciones asociadas con las medidas conductuales tradicionales.

Se realizó la siguiente investigación por los autores Schütt-Mast & Stephan, (2018) llamado «**Significance of electroencephalography for the diagnosis of seizures in dogs**». El objetivo de este estudio fue investigar y resaltar la importancia de la electroencefalografía (EEG) en el diagnóstico de convulsiones en canes. El objetivo principal fue proporcionar una descripción detallada de la técnica de registro EEG, ofrecer una visión general de la interpretación de los resultados y resaltar la relevancia clínica de los elementos encefalográficos típicos.

El estudio se propuso ilustrar y describir los cambios EEG característicos asociados con diferentes formas de convulsiones, para incluir causas extra cerebral, epilepsia sintomática e idiopática. Además, se explorará la utilidad del EEG para diferenciar estas afecciones e identificar patrones específicos que podrían tener implicaciones diagnósticas y terapéuticas.

Emmanuel Batista et al., (2019) realizaron una investigación denominada «**Análisis y caracterización de señales eléctricas del cerebro utilizando interfaz cerebro computador**». En este estudio se llevó a cabo una investigación descriptiva e interdisciplinaria centrada en los sistemas de interfaz cerebro-computadora (BCI) basados en electroencefalografía (EEG), explorando sus características y aplicaciones. Los instrumentos y técnicas empleados incluyeron la interfaz cerebro-computadora (BCI) dispositivos de EEG para la captura de señales cerebrales y sistemas de procesamiento informático, considerando la ubicación y calidad de los sensores de EEG según el estándar internacional 10-20.

El objetivo principal del estudio fue proporcionar una visión general de las BCI y sus características, además explorar sus orígenes, evolución, elementos constituyentes y el procesamiento de señales cerebrales. Se destacó que el propósito fundamental de los sistemas BCI era posibilitar que personas con discapacidades motrices transmitieran sus

intenciones mediante la modulación de señales eléctricas en la actividad cerebral. A pesar de los desafíos para comprender completamente el funcionamiento del cerebro, la ingeniería actual había logrado implementar soluciones viables mediante sistema de BCI.

Entre las contribuciones y conclusiones más relevantes obtenidas se encontraron que los sistemas de BCI funcionan también como transductores de señales eléctricas cerebrales, permitiendo la interpretación de señales asociadas a procesos mentales. En el sistema de adquisición no invasivos como el EEG, se destacó la importancia de la calidad y ubicación de los sensores en el cuero cabelludo. Todos los dispositivos BCI incluyen etapas electrónicas y de procesamiento informático, lo que permite su operación de control. Además, se resaltó que las técnicas BCI tienen aplicaciones significativas en el campo médico, incluyendo el control de dispositivos de asistencia, la rehabilitación y la sustitución de funciones.

Sulisetyo Nugroho & Fahrudi, (2019) realizaron una investigación titulada **«An Application Real-time Acquirinng EEG Signal from Single Lead Electrode to Recognize Brain Activity»**. El estudio se centró en el uso de la electroencefalografía (EEG) como herramienta para definir, evaluar y analizar la actividad de las señales cerebrales en humanos. A lo largo de los años, el EEG ha encontrado aplicaciones más allá de la psicología y la medicina, expandiéndose a campos como la tecnología de juegos, la interacción persona-computadora, el neuromarketing y la simulación. El objetivo principal era examinar los patrones de actividad eléctrica en el cerebro, específicamente las ondas alfa, beta, theta, delta y gamma, en dos condiciones: durante el sueño profundo y despierto mientras se escucha música.

Los experimentos se realizaron en sujetos colocando electrodos en áreas específicas de la cabeza, conectados a un sensor cerebral. La salida de la actividad cerebral se procesó utilizando un procesador Arduino que utilizaba una interfaz para visualizar la actividad eléctrica del cerebro. Se tomaron 200 muestras de cada sujeto en las dos condiciones antes mencionadas y se evaluaron diferencias significativas en las ondas cerebrales dependiendo de la condición del sujeto.

Los resultados revelaron diferencias significativas en las ondas cerebrales dependiendo de las condiciones de los sujetos, ya sea durante el sueño profundo o mientras estaban despiertos mientras escuchaban música. Estos hallazgos sugieren que

las ondas cerebrales pueden proporcionar información valiosa para la toma de decisiones en el diagnóstico de señales cerebrales, permitiendo tomar decisiones médicas basadas en indicaciones precisas. Además, se destacó la importancia de la modificación en los patrones de ondas cerebrales para facilitar el diagnóstico de posibles afecciones médicas en los pacientes.

En cuanto a los métodos utilizados, se implementó un prototipo que utilizó electrodos, un sensor cerebral, un procesador Arduino y una interfaz visual en el lenguaje de programación. Se destacó la necesidad de técnicas de preprocesamiento, como el filtrado de ondas y mediana, para eliminar artefactos no deseados en las grabaciones de EEG.

En conclusión, este estudio proporcionó información valiosa sobre la relación entre las ondas cerebrales y las condiciones específicas de los sujetos, demostrando su utilidad en la evaluación y diagnóstico médico. Además, se destacó la importancia de la fase de preprocesamiento para garantizar la precisión de los resultados en las grabaciones de EEG.

En un estudio realizado por Wan et al., (2019) titulado «**A review on Electroencephalogram based brain computer interface for Elderly Disabled**». El objetivo principal de los investigadores fue mejorar la comunicación en pacientes con enfermedades neurodegenerativas mediante una interfaz cerebro-computadora (BCI) que permitiera a personas con discapacidades severas comunicar sus pensamientos sin necesidad de realizar movimientos musculares.

El propósito del estudio incluyó proporcionar una visión detallada sobre la medición del electroencefalograma (EEG) y la colocación adecuada de electrodos, así como analizar investigaciones anteriores relacionadas en la creación de BCIs centrados en EEG. Ellos enfatizaron la eficacia del EEG como herramienta para medir la actividad cerebral y se describieron los componentes necesarios para la adquisición de estas señales, que incluyen electrodos, gel conductor, bio amplificadores con filtros y una computadora con un programa capaz de procesar las señales.

Sawangjai et al., (2020) publicaron un artículo de revisión que titularon como «**Consumer grade EEG Measuring Sensors as Research Tools: A Review**» llevaron a

cabo un estudio que se centró en la evaluación descriptiva y comparativa de dispositivos EEG de grado consumidor en diversas áreas de investigación, incluyendo cognición, interfaces cerebro-computadora (BCI), educación y neurociencia de videojuegos. La investigación se enfocó en la comparación de dispositivos de diferentes fabricantes como Neurosky, interaXon, OpenBCI y Emotiv, destacando su accesibilidad económica, portabilidad y facilidad de uso, así como la variación en el número de canales o electrodos.

El objetivo principal del estudio fue evaluar el desempeño y la aplicabilidad de los dispositivos EEG de grado consumidor en comparación con los dispositivos EEG médicos convencionales en diversas áreas de aplicación. Se buscó determinar si estos dispositivos más accesibles podrían proporcionar resultados a los dispositivos médicos más costosos. Entre las principales conclusiones se destacó que los dispositivos EEG de grado consumidor tienen una amplia gama de aplicaciones, encontrando utilidad en la detección de emociones, la investigación de interfaces cerebro-computadora y la educación, extendiéndose a los entornos clínicos.

Ellos señalaron que estos dispositivos no plantean desafíos en términos de calidad de datos debido a limitaciones como el número reducido de electrodos y la factible interferencia en artefactos, subrayando la necesidad de abordar estas preocupaciones en investigaciones futuras.

El estudio realizado por los autores Fleyshman et al., (2021) cuyo nombre titulada como «***Development of infrastructure for a systemic multidisciplinary approach to study aging in retired sled dogs***» se centró en el desarrollo de un programa de investigación que abordó los desafíos del envejecimiento en mamíferos, utilizando perros de trineo retirados como modelos. La investigación se basó en la similitud entre los caninos y los humanos en términos de enfermedades relacionadas con la edad. Para garantizar la uniformidad en la población de estudio.

Con una población de 180 canes de trineo retirados, implementaron un enfoque multidisciplinario para evaluar longitudinalmente el proceso de envejecimiento. Se abordaron aspectos físicos, inmunológicos, neurológicos, cognitivos y genéticos para obtener una comprensión completa de los canes asociados con el envejecimiento en

canes. La infraestructura en Vaika facilitó la recopilación periódica de datos cuantitativos, incluyendo la evaluación de enfermedades como artritis y cáncer.

Los resultados obtenidos mediante cuestionarios y pruebas objetivas proporcionaron información detallada sobre la calidad de vida y el síndrome de disfunción cognitiva en la población canina. El análisis en profundidad, respaldado por enfoques de inteligencia artificial, permitió caracterizar los mecanismos del envejecimiento canino.

La metodología ofreció una valiosa contribución para la comprensión del envejecimiento en canes, destacando el potencial de estos animales como modelos para la investigación en salud.

Karpiński et al., (2022) realizaron una investigación cuyo nombre esta titulada como **«EEG readings in dogs depending on their living condition and training. Preliminary study»**. En esta investigación se abordaron varios aspectos clave relacionados con el examen de la actividad eléctrica cerebral en canes. Se describieron métodos contemporáneos para evaluar la actividad cerebral en animales, como la resonancia magnética, la tomografía por emisión de positrones y técnicas electrofisiológicas, centrándose especialmente en el electroencefalograma (EEG).

Se destacó la importancia del EEG en el diagnóstico veterinario, destacando su utilidad en enfermedades como la epilepsia postraumática y la encefalitis, así como en la evaluación de tumores cerebrales y lesiones cerebrovasculares en animales.

Se abordaron los problemas técnicos y éticos asociados con el uso del EEG en animales, incluyendo la falta de un estándar universal en la técnica de registro y las preocupaciones éticas relacionadas con el uso de electrodos intracraneales.

Se detalló la población de estudio, la cual estuvo compuesta por dos canes clínicamente sanos: un pastor alemán de 10 años, esterilizado y entrenado en competencias de obediencia, y una hembra de perro salchicha miniatura de pelo duro, de 13 años. Durante la fase inicial del estudio, se registraron electroencefalogramas específicos para cada individuo, mostrando ritmos beta dominantes con frecuencias de aproximadamente 17 Hz y ritmos alfa con frecuencias de aproximadamente 12 Hz. La comparación de los registros de EEG entre humanos y canes indicó inequívocamente que

la señal de actividad eléctrica en los animales examinados era confiable y reproducible, sin artefactos derivados de la actividad muscular.

La técnica electrofisiológica presentada en este estudio se destacó como una herramienta de investigación que permitió examinar cambios en la actividad cerebral de canes durante tareas conductuales que inducían estados de concentración y relajación. Los resultados obtenidos demostraron que el adiestramiento canino influía en la actividad eléctrica del cerebro, mostrando diferentes respuestas ante estímulos conocidos y desconocidos, como las órdenes de voz.

Los autores Schork et al., (2022) redactaron un estudio titulado como «***The cyclic interaction between daytime behavior and the sleep behavior of laboratory dogs***» En este estudio cuyo objetivo era explorar los efectos de la pérdida de sueño en canes de laboratorio adultos, se registraron datos durante un período de evaluación de 24 horas y cinco días, con un total de 1560 horas de observación. Contrariamente a lo esperado, los resultados revelaron que los canes estudiados durmieron significativamente menos de lo que se había informado anteriormente. Se observó una arquitectura del sueño modificada con menos despertares nocturnos y prácticamente ninguna actividad de sueño durante el día.

Se demostró que la pérdida de sueño induce un aumento de la inactividad diurna, una disminución de las conductas de juego y de alerta, así como un aumento del tiempo dedicado a comer durante el día. Los canes machos parecían ser más susceptibles a la fragmentación del sueño que las hembras, y los diferentes grupos de edad experimentaron diversos efectos de la pérdida de sueño.

Los resultados destacaron una asociación directa entre la cantidad y calidad del sueño y el comportamiento diurno de los canes. La fragmentación del sueño dejó a los animales más inactivos y menos receptivos a su entorno, lo que indica posibles consecuencias sobre el bienestar animal. Además, se observará la influencia del entorno de la perrera y las prácticas de cría sobre las alteraciones del sueño y los patrones de comportamiento.

Concluyeron que, la falta de sueño pareció tener un impacto significativo en el comportamiento diurno de los canes de laboratorio, lo que indicó la importancia de

considerar y mejorar las condiciones de alojamiento, implementar prácticas de enriquecimiento y establecer rutinas regulares de ejercicio para garantizar un sueño de calidad y el bienestar de los animales. Estos hallazgos abrieron la puerta a futuras investigaciones sobre la relación entre la pérdida de sueño y el bienestar animal, con implicaciones para el diseño de entornos que promueven un sueño saludable en laboratorios y perreras.

En Hungría los investigadores Reicher et al., (2022) llevaron a cabo un estudio al cual titularon «**Non-invasive sleep EEG measurement in hand raised wolves**». Para comprender los factores fisiológicos y ambientales que afectan las distintas características del sueño. El objetivo principal fue explorar el sueño en los lobos, el pariente salvaje más cercano del perro doméstico, utilizando una metodología de polisomnografía no invasiva. Se aplicó el mismo protocolo de polisomnografía previamente desarrollado para canes domésticos.

La muestra incluyó siete lobos cautivos, seis jóvenes y un adulto, todos ampliamente socializados. Se compararon los datos de sueño de los lobos con datos de canes de edad similar, utilizando la misma metodología. Aunque el tamaño de la muestra no permitió análisis estadísticos, se surgió que estos datos podrían ser la base para colecciones internacionales de muestras en múltiples sitios.

Los resultados demostraron con éxito la viabilidad de medidas no invasivas del sueño en lobos. Se registraron todas las etapas del sueño, incluía la somnolencia, NREM y REM. Además, se logró analizar la densidad espectral de potencia de las etapas NREM. La comparación de confiabilidad entre evaluadores mostró un acuerdo sustancial.

Este estudio representó el primer intento de explorar el EEG del sueño en lobos de manera no invasiva. La metodología utilizada se mostró prometedor para recopilar datos válidos tanto espectrales como macroestructurales del sueño en lobos canes, aumentando la comparabilidad en estudios no invasivos del sueño, además, se destacó la importancia de considerar métodos éticos y no invasivos en la investigación del sueño en animales, ofreciendo una perspectiva valiosa para comprensión de la neurobiología del sueño en especies no humanas.

Luca et al., (2023) llevaron a cabo una investigación titulada como «**Survey of electroencephalography usage and techniques dogs**». Dicho estudio se llevó a cabo sobre el uso del electroencefalograma en caninos. Se exploró la prevalencia y las barreras asociadas a esta técnica de diagnóstico en neurología veterinaria. Se destacó que la epilepsia es la condición neurológica más común en canes, afectando aproximadamente al 0.6-0.75% de la población canina. Sin embargo, se señaló que el diagnóstico y tratamiento de esta condición puede verse limitado debido a la falta de estándares en la aplicación y técnica del EEG en medicina veterinaria.

Según los investigadores, la encuesta realizada con una tasa de respuesta del 35%, reveló que menos del 50% de los neurólogos veterinarios utilizan activamente el EEG en sus consultas, lo que sugiere una subutilización de esta técnica. Entre las barreras identificadas se encuentran la falta de disponibilidad de equipos de EEG, casos insuficientes y preocupaciones financieras para los dueños de mascotas. También se destacaron como barreras importantes la formación y la experiencia limitadas en la interpretación de EEG.

En cuanto a la evolución de la técnica, se observó un cambio en la preferencia de electrodos, siendo los electrodos de alambre subdérmicos los más utilizados, seguidos de los electrodos de agujas de acero y los electrodos de superficie cutánea. Este cambio se atribuyó a ventajas como el bajo mantenimiento, la durabilidad para registros más largos y un mayor soporte para imágenes avanzadas.

Así mismo, el estudio destaca la necesidad de superar las barreras clínicas y mejorar la adopción del EEG en canes aclarando las indicaciones, brindando apoyo educativo y potencialmente reduciendo los costos. Además, la evolución tecnológica en la elección de los electrodos indica una adaptación a las innovaciones más recientes. Estos hallazgos sientan las bases para futuros avances en la estandarización y mejora de la confiabilidad del EEG canino, con el objetivo de optimizar el diagnóstico y tratamiento de la epilepsia en canes.

Los investigadores Niso et al., (2023) elaboraron un articulado titulado «**Wireless EEG: A survey of systems and studies**». Este estudio llevó a cabo un exhaustivo análisis de varios dispositivos EEG inalámbricos disponibles en el mercado y de trabajos publicados en la literatura científica. Se centraron en proporcionar una visión completa

de la variedad de dispositivos, sus configuraciones y su popularidad en el campo. En donde observaron una amplia gama de dispositivos diseñados para adaptarse a diferentes cascos de uso.

La literatura revisada reveló la falta de protocolos estandarizados para evaluar dispositivos EEG inalámbricos y enfatizó la importancia de la transparencia por parte de los fabricantes en la información que proporcionaban.

El estudio destacó la variabilidad y omisiones en la metodología y procesos de procesamiento en los estudios revisados, lo que dificulta la recopilación y comparación de resultados entre investigaciones.

Pellegrino & Gómez Álvarez, (2023) realizaron una investigación dando por nombre «***Electroencephalographic features of the developing brain in 72 dogs under xylazine sedation: a visual and statistical analysis***». En este estudio se examinaron registros electroencefalográficos de canes adultos normales para comprender las variaciones en la actividad cerebral en relación con la edad y el estado de excitación. Se observó que, dependiendo del estado de excitación, predominaban ondas de 6 a 12 Hz, clasificadas como actividad theta y alfa, con un ritmo alfa predominante en la corteza cerebral, variando según la región y morfología craneal de los canes.

Se incluyeron en el estudio sesenta y dos canes sanos y se registraron electroencefalogramas (EEG) utilizando electrodos subcutáneos dorsales y electrodos laterales profundos bajo sedación con xilazina. Se realizaron análisis visuales y estadísticos de la actividad cerebral, en los que participaron cuatro investigadores diferentes.

Los resultados de este estudio indicaron que la maduración de la actividad bioeléctrica cerebral en canes es un proceso gradual. Las características del EEG en caninos adultos, comenzaron a manifestarse alrededor de los 12 meses, estabilizándose después de los 24 meses según el análisis visual estadístico. Se señaló la importancia de considerar diferencias en el desarrollo del neopallio y el rinencéfalo para identificar visualmente los periodos de maduración del EEG.

El estudio proporcionó información valiosa sobre las características normales del EEG en caninos de diferentes edades, facilitando la interpretación correcta de los registros y evitando el diagnóstico malo en caninos con proceso de maduración del EEG.

Los Investigadores Greenblatt et al., (2023) realizaron una investigación en la cual se centraron en el problema de la mala interpretación del electroencefalograma **«Pitfalls in Scalp EEG: Current obstacles and future directions»**. Se destacó que la sobreinterpretación de las formas de onda transitorias como anomalías epileptiformes interdictales conduce a cargas médicas, sociales y financieras evitables. El objetivo principal fue analizar errores comunes en la interpretación del EEG y proponer iniciativas para abordar estos desafíos.

En cuanto a los métodos, se mencionó que la implementación de planes de estudio basados en competencias podría mejorar la competencia en la interpretación de EEG entre los neurólogos generales. También se han explorado enfoques de alta fidelidad para interpretar las descargas epileptiformes, con la posibilidad de utilizar técnicas de aprendizaje automático para acelerar la interpretación del EEG.

Concluyeron que la importancia de reconocer y abordar errores de diagnóstico comunes en la interpretación del EEG. Se indicó que la implementación de enfoques educativos basados en competencias y el uso de tecnologías emergentes podría mejorar la precisión y confiabilidad de la interpretación del EEG, contribuyendo así a una mejor atención médica en el tratamiento de los trastornos convulsivos.

Sakai et al., (2023) realizaron una investigación dando por nombre **«Evaluation of the electroencephalogram in awake, sedated, and anesthetized dogs»**. El estudio abordó la implementación de la monitorización por electroencefalograma (EEG) en la práctica clínica veterinaria, con el objetivo de prevenir la conciencia involuntaria durante la anestesia general en canes Beagle. Se clasificaron las bandas de frecuencia del EEG, destacando la dificultad subjetiva en la interpretación en tiempo real de los datos sin procesar, lo que resultó en la necesidad de procesarlos en variables más manejables para evaluar la profundidad anestésica.

El objetivo principal fue evaluar la eficacia del índice de estado del paciente (PSI) basado en EEG para diferenciar los estados despierto, sedado y anestesiado en canes.

Para ello, se utilizaron seis canes Beagle machos intactos y sanos en un experimento que combinó aspectos de un estudio quirúrgico previo. Aunque no se calculó el tamaño de la muestra, se siguió el principio de las "Tres R" para reducir el número de animales utilizados.

Los métodos incluyen sedar a los canes con acepromacina e hidromorfona y evaluar los cambios en el nivel de actividad y las respuestas del EEG. Se registraron datos como el peso de los canes, complicaciones anestésicas y recuperación post-anestésica.

El estudio proporcionó información valiosa sobre las características normales del EEG en caninos de diferentes edades, facilitando la interpretación correcta de los registros y evitando el diagnóstico malo en caninos con proceso de maduración del EEG.

Los resultados demostraron que el PSI y el análisis de priorización de frecuencia (DSA) fueron efectivos para diferenciar entre los estados despierto, sedado y anestesiado en canes. La sedación con acepromacina e hidromorfona reduce la actividad de los animales, evidenciándose una disminución del PSI, comparable a hallazgos previos en la literatura. La principal conclusión fue que la PSI puede ser una herramienta valiosa para monitorear la profundidad anestésica en canes, proporcionando una evaluación cuantitativa y objetiva de la inconsciencia durante los procedimientos veterinarios.

Un estudio abordado por Provoost, (2024) se enfocó en la disfunción cognitiva en mascotas, explorando tanto sus aspectos conductuales como médicos esta investigación tiene por título como **«Cognitive changes Associated with Aging and Physical Disease In Dogs and Cats»**. El objetivo principal fue investigar las causas y los factores asociados con la disfunción cognitiva, diferenciándola de otros problemas médicos. Se emplearon métodos que involucraron análisis hematológicos y bioquímicos para identificar variaciones asociadas con enfermedades físicas primarias que podrían vincularse con la disfunción cognitiva.

Se reconoció que la cognición en los canes cambia a lo largo de las etapas de la vida, y se realizaron pruebas neurocognitivas para evaluar el rendimiento en tareas de aprendizaje y funciones ejecutivas. Además, se abordó el envejecimiento y sus efectos en la cognición de las mascotas, destacando la importancia de un envejecimiento exitoso.

El síndrome de disfunción cognitiva (CDS) fue discutido como un síndrome neuroconductual primario en canes mayores, analogando la demencia humana, se enfatizó la necesidad de una atención médica continua y evaluaciones regulares para identificar y tratar tempranamente tanto las condiciones médicas como las cognitivas.

En este estudio concluyó que se destacaba la importancia de la interacción entre diversos factores como la vida, el envejecimiento, la enfermedad y a inflamación al tratar a pacientes mayores. Se subrayó la necesidad de más investigaciones basadas en evidencia para diferenciar la disfunción cognitiva en pacientes veterinarios, con el objetivo de mejorar las estrategias de prevención, tratamiento y comprensión de la progresión.

El estudio «***Sleep and cognition in aging dogs. A polysomnographic study***» realizado por los autores Mondino et al., (2023) se centró en la relación entre la arquitectura del sueño y el rendimiento cognitivo en canes de edad avanzada, específicamente aquellos que presentan síntomas de síndrome de disfunción cognitiva canina (CCDS), es un trastorno análogo a la enfermedad de Alzheimer en humanos. El objetivo principal fue cuantificar los cambios relacionados con la edad en la macroestructura del ciclo sueño-vigilia y las características electroencefalográficas en canes mayores, además correlacionar estos hallazgos con el rendimiento cognitivo de los animales.

Para abordar este objetivo, se llevaron a cabo registros polisomnográficos en 28 canes mayores durante una siesta de 2 horas. Estos registros permitieron calcular el porcentaje de tiempo dedicado a la vigilia, somnolencia, y así como las latencias a los tres estados de sueño. Además, se estimaron medidas cuantitativas de las oscilaciones cerebrales, como el poder espectral, la coherencia y la complejidad de Lempel Ziv. La evaluación del rendimiento cognitivo se realizó mediante el cuestionario "Canine Dementia Scale (CADES)" y una batería de pruebas cognitivas que abordaron diferentes dominios cognitivos, como la atención, la memoria de trabajo y el control ejecutivo.

Los resultados revelaron que a los canes con puntuación más altas en demencia y peor rendimiento en tareas de resolución de problemas pasaron menos tiempo en sueño NREM y REM. Además, a los análisis electroencefalográficos cuantitativos

demonstraron diferencias asociados con la edad o el rendimiento cognitivo, indicando un sueño menos más profundo en los canes más afectados.

Este estudio piloto titulado «***Feasibility of in-home electroencephalographic and actigraphy recordings in dogs***» elaborado por Folkard et al., (2024) se enfocaron en evaluar la viabilidad de utilizar una combinación de tecnologías innovadoras para la clasificación del comportamiento y la detección de ataques epilépticos en canes durante un registro mínimo de 24 horas en su entorno doméstico. La epilepsia idiopática en canes a menudo está asociada con comorbilidad de comportamiento, como agresión, ansiedad y miedo, lo que impacta negativamente en la calidad de vida tanto del perro como del dueño.

En este estudio, se utilizó una muestra de 10 canes de propiedad comunitaria, los cuales fueron instrumentados con video-EEG inalámbrico y actigrafía durante un periodo de hasta 18 horas en sus hogares. Los cuidadores completaron tres cuestionarios detallados para describir el comportamiento y los hábitos cotidianos de los canes. Se esperaba que esta combinación de tecnologías proporcionara información valiosa sobre el comportamiento y la actividad cerebral de los canes durante un periodo prolongado en un entorno no clínico.

Los resultados indicaron que seis de los diez canes incluidos tuvieron registros exitosos de EEG y actigrafía durante un mínimo de 2 horas, demostrando la viabilidad de esta combinación de tecnologías en canes de propiedad comunitaria. A pesar de algunos desafíos técnicos y la necesidad de sedación en algunos casos para la colocación de electrodos, los registros fueron generalmente exitosos. Además, la recopilación de información a través de cuestionarios completados por los cuidadores se llevó a cabo sin dificultades y fue completada en su totalidad.

Este estudio piloto proporcionó una base para futuras investigaciones que utilicen la combinación de EEG, actigrafía y cuestionarios para comprender mejor la relación de la actividad cerebral y el comportamiento en canes con epilepsia idiopática.

## **2.2 PROBLEMÁTICA**

Dentro del contexto de las prácticas médico-veterinarias, existen variables que han limitado la incorporación de estudios de electroencefalografía como práctica

protocolaria habitual en los canes con potencial requerimiento de ello. Durante el desarrollo de este tipo de estudios, se manifiesta una baja colaboración por parte de los animales, lo que orienta la necesidad de restringir en alguna medida al sujeto de estudio.

Las restricciones físicas no son un método eficaz para lograr una adecuada calidad en la señal obtenida, por lo que, se recurre en muchas ocasiones a la restricción por medio del uso de fármacos. La aplicación de anestésicos puede incidir en una influencia negativa por la alteración del estado natural del comportamiento de las ondas de EEG en los sujetos. Adicional a este aspecto, se pueden presentar aumentos de la presión intracraneal, inducción de movimientos mioclónicos involuntarios e incluso riesgo de eventos convulsivos.

Todo lo anterior, concluye en limitantes técnicas relevantes en la precisión, confiabilidad y seguridad de los estudios electroencefalográficos en canes (Barros & Mesa, 2019).

En el año 2022, se realizó un estudio que evaluaba el nivel de preparación de los países para el desarrollo de tecnologías avanzadas como un sistema de Vanguardia. Estadísticamente Honduras destacaba demostrando tener una preparación del 0.3%, situándose entre los países menos preparados para la implementación de tecnologías de vanguardia, el país que más alto se encontraba preparado para estas nuevas tecnologías de vanguardia es Brasil posicionándose con un 0.71% (Statista, 2022).

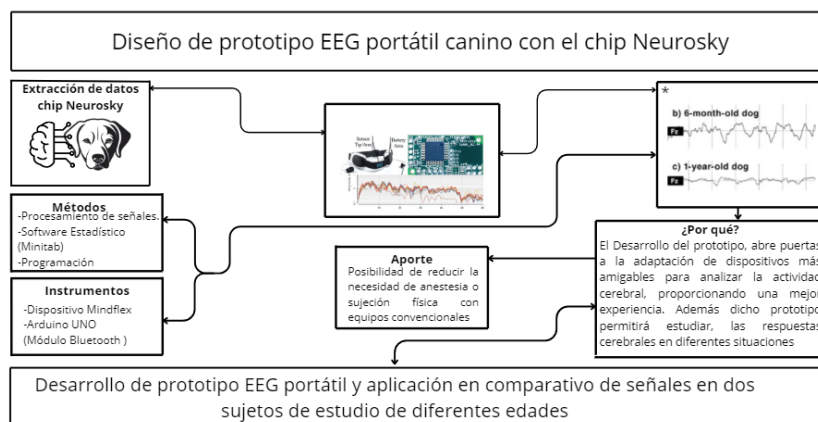
La ausencia de investigaciones específicas en canes, que no estén relacionadas con la epilepsia, resalta la falta significativa de información respecto a cómo se comporta el cerebro de los canes durante actividades diarias u otras situaciones comunes. Esta escasez de estudios impide una comprensión profunda de las ondas cerebrales en circunstancias que no están vinculadas a trastornos neurológicos particulares. Esto limita nuestro conocimiento sobre la actividad cerebral normal de los canes, obstaculizando la identificación de patrones característicos asociados con diversos comportamientos y estados emocionales. Abordar esta investigación no solo enriquecerá nuestra comprensión fundamental de la neurociencia canina, sino que también facilitará la aplicación más precisa de la electroencefalografía en contextos más amplios y variados. (Schütt-Mast & Stephan, 1996).

Luego de las consideraciones anteriores, la falta de tecnologías como herramientas especialmente en el ámbito de la electroencefalografía (EEG) para caninos en Honduras, resalta la necesidad urgente de realizar investigaciones orientadas al desarrollo de soluciones eficientes y accesibles.

### 2.3 IMAGEN INTEGRADORA

En los últimos años, la tecnología veterinaria en América Latina, ha enfrentado importantes desafíos y no ha logrado alcanzar un nivel avanzado en el campo de la salud. Ha habido una falta de desarrollo de tecnologías emergentes, como la interfaz cerebro-computadora, que podrían ofrecer soluciones innovadoras. La implementación de nuevas tecnologías veterinarias, particularmente aquellas basadas en estudios de electroencefalograma, tiene el potencial de abrir nuevas perspectivas para el desarrollo de dispositivos especializados y amigables.

Se trabajó en el desarrollo de un prototipo de monitoreo cerebral para canes, utilizando el chip NeuroSky en conjunto con el accesorio MindFlex, con el propósito de brindar a los veterinarios una herramienta efectiva durante los estudios de electroencefalografía (EEG). El objetivo principal del enfoque fue desarrollar y analizar patrones de ondas cerebrales en canes, abriendo nuevas posibilidades para la creación de dispositivos amigables y específicos para estos animales. Este proyecto se centró en facilitar el diagnóstico y seguimiento por parte de los profesionales veterinarios, también en promover el desarrollo de tecnologías más especializadas y accesibles para mejorar el cuidado de la salud cerebral canina. (Ilustración 1).



**Ilustración 1 Imagen Integradora**

Fuente: Elaboración Propia (Reicher et al., 2022)

## 2.4 TABLA DE LIMITACIONES

En la revisión de la literatura, se han observado varias limitaciones las cuales se desglosan a continuación (Tabla 1).

**Tabla 1 Limitaciones De Estudio**

<b>Autor(es)</b>	<b>País de estudio</b>	<b>Enfoque del estudio</b>	<b>Tipo de Limitación</b>	<b>Detalles de limitación</b>
James et al., 2017	Canadá	Evaluar la eficacia de la video-EEG inalámbrica en 81 Canes para diagnosticar eventos de comportamientos inusual.	La técnica de grabación no produce grabaciones libres de artefactos.	Los artefactos en las grabaciones eran representados por movimientos musculares, ocular, auditivo o incluso corporal. A demás mencionaban que los registro podrían ser anodinos en individuos verdaderamente epilépticos, lo que podría conducir a falsos negativos en la detección de eventos.
Musteata et al., 2018	Rumania	Investigar la influencia del tipo de electrodo en resultados del electroencefalograma cuantitativo y la coherencia cerebral en Canes de Vigil.	Falta de análisis Longitudinal.	La falta de análisis longitudinal en este estudio, implica que la investigación se llevó a cabo en un solo tiempo, sin un seguimiento a lo largo del tiempo para evaluar como los resultados del electroencefalograma podrían cambiar o evolucionar en los Canes de Vigil.

Continuación de tabla 1

Autor(es)	País de estudio	Enfoque del estudio	Tipo de Limitación	Detalles de limitación
Schütt-Mast & Stephan, 2018	Alemania	Proporcionar una comprensión completa y detallada de como la electroencefalografía puede ser una herramienta valiosa en el diagnóstico de convulsiones en canes.	Adaptación al procedimiento.	Si bien el estudio se abordó, una de las limitaciones depende de la ejecución o metodología en que se realice dicho estudio. Algunos canes pueden sentirse incomodos durante la colocación de electrodos o la duración del procedimiento del EEG. La adaptación es individual por lo tanto no se puede evaluar si todos los Canes tendrían el mismo comportamiento.
Emmanuel Batista et al., 2019	Panamá	Proporcionar evidencia de la capacidad de utilizar la actividad cerebral relacionada con la imaginación motora como entrada para sistemas de control, con el fin de desarrollar aplicaciones prácticas en el campo (BCI)	Características del EEG.	El estudio proporciona ciertas características del EEG, pero no detallada sobre la calidad de los datos EEG es esencial para la interpretación precisa de los resultados.

Continuación de Tabla 1

<b>Autor(es)</b>	<b>País de estudio</b>	<b>Enfoque del estudio</b>	<b>Tipo de Limitación</b>	<b>Detalles de limitación</b>
Howell et al., 2018	Australia	Desarrollo de un prototipo mínimamente invasivo para registrar la negatividad de desajuste (MMN) en el perro (Canis Familiaris) mediante electroencefalografía (EEG)	Tamaño de la muestra.	La muestra del estudio es muy pequeña y se basa en un solo perro (Una perra australiana Shephard). Los resultados podrían no generalizarse a toda la población de los canes, ya que la variabilidad entre los individuos puede ser significativa.
Sulisetyo Nugroho & Fahruzi, 2019	Batam, Indonesia	Utilizar la electroencefalografía como herramienta para analizar patrones de actividad eléctrica en el cerebro Humano.	Interferencias y artefactos.	Se detallo la necesidad de proporcionar técnicas de preprocesamiento, como el filtrado de ondas y la mediana para eliminar artefactos no deseados en las grabaciones de EEG y garantizar la precisión. El EEG fue susceptible a interferencias externas y artefactos.
Karpiński et al., 2022	Lublin, Polonia	Investigar y presentar una técnica electrofisiológica que permita examinar la actividad cerebral de los Canes.	Tamaño de la muestra.	El estudio se llevó a cabo en 2 Canes hembras una entrenada y otra no entrenada, por ende, muy específico. La muestra puede limitar la generalización de los resultados a la población canina en general. Sería más robusto con un número mayor de sujetos.

Continuación de Tabla 1

<b>Autor(es)</b>	<b>País de estudio</b>	<b>Enfoque del estudio</b>	<b>Tipo de Limitación</b>	<b>Detalles de limitación</b>
Schork et al., 2022	Brasil	Investigar la relación entre la pérdida de sueño y el comportamiento diurno en perros adultos de laboratorio.	Duración del estudio.	El Estudio se realizó durante un periodo de 5 días, la duración relativamente corta podría no capturar completamente los efectos a largo plazo de la pérdida de sueño en el comportamiento de los canes en otros entornos.
Reicher et al., 2022	Hungría	Analizar los patrones de sueño en lobos, mediante el uso de polisomnografía	Condiciones de cautiverio.	Los lobos son cautivos en un centro de adiestramiento animal. Lo que puede diferir significativamente del entorno natural de los lobos salvajes en donde los patrones del sueño podrían ser diferentes.
Luca et al., 2023	Canadá	Realizar una encuesta con el objetivo de comprender el uso actual, de las técnicas empleadas en EEG en la neurología veterinaria, en contexto de los Canes.	Baja tasa de respuesta.	Aunque la tasa de respuesta fue de un 35% es razonable, sin embargo, representa una parcialidad de no respuesta. Los participantes que contestaron podrían tener perspectivas diferentes a aquellos que optaron por no participar, esto podría inferir en los resultados.

Continuación Tabla 1

<b>Autor(es)</b>	<b>País de estudio</b>	<b>Enfoque del estudio</b>	<b>Tipo de Limitación</b>	<b>Detalles de limitación</b>
Pellegrino & Gómez Álvarez, 2023	Valencia, España	Proporcionar una descripción detallada y estandarizada de las características EEG en canes, con énfasis en la influencia de la edad y la actividad cerebral.	Agentes anestésicos químicos.	La sedación con xilazina podría tener efectos en la actividad cerebral y, por ende, en los resultados del EEG. Los cambios que se reflejaron en el estudio bajo sedación pueden no tener precisión de la actividad cerebral en condiciones normales.
Greenblatt et al., 2023	Washington, EE. UU	Se centro en abordar la malinterpretación común del EEG, en el contexto de la evaluación y tratamiento de trastornos convulsivos.	Falta de alcance de la revisión.	La revisión no profundiza detalles específicos sobre los errores de diagnósticos comunes en la interpretación del EEG ni sobre las iniciativas para abordar estos problemas.
Provoost, 2024	Filadelfia	Comprender la disfunción cognitiva en perros abordando aspectos claves relacionados con la salud cerebral y los procesos cognitivos en diferentes etapas.	Falta de estudios longitudinales.	Muchos estudios pueden centrarse en un periodo específico de la vida de un canino, pero la falta de estudios longitudinales a lo largo del tiempo podría limitar la comprensión de los cambios cognitivos a lo largo de la vida.

Fuente: Elaboración Propia

### **III. OBJETIVOS**

Este capítulo define los objetivos que guían el estudio sobre el uso de tecnología EEG portátil implementado tecnologías como lo es el chip NeuroSky para explorar la cognición canina.

#### **2.2 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un prototipo de electroencefalografía (EEG) portátil aplicado en canes para el análisis en la influencia de la edad canina en las respuestas cerebrales ante la exposición de actividades cotidianas.

##### **3.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar investigaciones previas y trabajos científicos centrados en la adquisición de señales de electroencefalograma (EEG) en canes.
- Definir una metodología adecuada para ensamblar el prototipo de electroencefalograma (EEG) en canes, incorporando la preparación de los componentes, la conexión con la tecnología del chip NeuroSky y el accesorio MindFlex, así como la verificación de su correcto funcionamiento.
- Adquirir señales electroencefalográficas en dos canes pertenecientes a la misma raza, con edades distintas, utilizando análisis estadístico para evaluar los parámetros de las señales.
- Analizar las diferencias en las respuestas cerebrales entre los canes de diferentes edades para determinar cómo la edad influye en la actividad cerebral durante actividades cotidiana.

## **IV. MÉTODOS**

### **4.1 ENFOQUE**

Este proyecto se enfocó en la creación de un prototipo portátil de Electroencefalograma (EEG) canino, elaborado y ensamblado manualmente en conjunto con la tecnología del chip NeuroSky y el accesorio de entretenimiento MindFlex. Este innovador dispositivo fue empleado para la captura y análisis de señales cerebrales en canes de la misma raza, específicamente pitbull. Adoptando un enfoque cuantitativo, el proyecto se configuró como un estudio experimental, dado que involucró la concepción y aplicación del prototipo de EEG.

La investigación se orientó hacia la comprensión de las señales de EEG obtenidas mediante el prototipo canino y la ejecución de un análisis estadístico específicamente dentro de la raza pitbull. Este enfoque permitió evaluar la eficacia del prototipo en la detección y análisis de la actividad cerebral en canes pitbull de distintas edades. Mas allá del desarrollo exitoso del sistema de EEG canino, el proyecto sentó las bases para la evaluación sistemática y objetiva del rendimiento del dispositivo en el contexto específico.

## 4.2 OBJETIVO DEL MÉTODO

Posteriormente, se desarrollaron métodos de validación con sus respectivas métricas parametrizadas (Sección 4.2). Estos métodos fueron definidos considerando los fundamentos de la metodología clásica de investigación, combinados con una delimitación sencilla en términos de ejecución técnica.

**Tabla 2 Objetivo del Método**

<b>Método</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Técnica</b>
Adquisición de señales Caninas	La adquisición de señales es esencial en la investigación, tiene como objetivo captar estas señales para luego ser interpretadas.	Chip Neurosky, parte del dispositivo de entretenimiento Mindflex.
Procesamiento de señales	Filtrar interferencias y reducir el ruido durante el procesamiento de señales con el fin de generar señales con claridad para la visualización.	Matlab
Conexión con Arduino	Establecer una conexión con Arduino para que funcione como el componente central encargado de recibir y procesar señales. El objetivo es capturar estas señales en tiempo real, permitiendo así su lectura inmediata.	Arduino UNO, integrado con Modulo Bluetooth
Análisis Estadístico	Realizar análisis estadísticos utilizando los datos capturados por el prototipo con el fin de comparar los parámetros entre diferentes razas de manera objetiva	Software Minitab

Fuente: Elaboración Propia

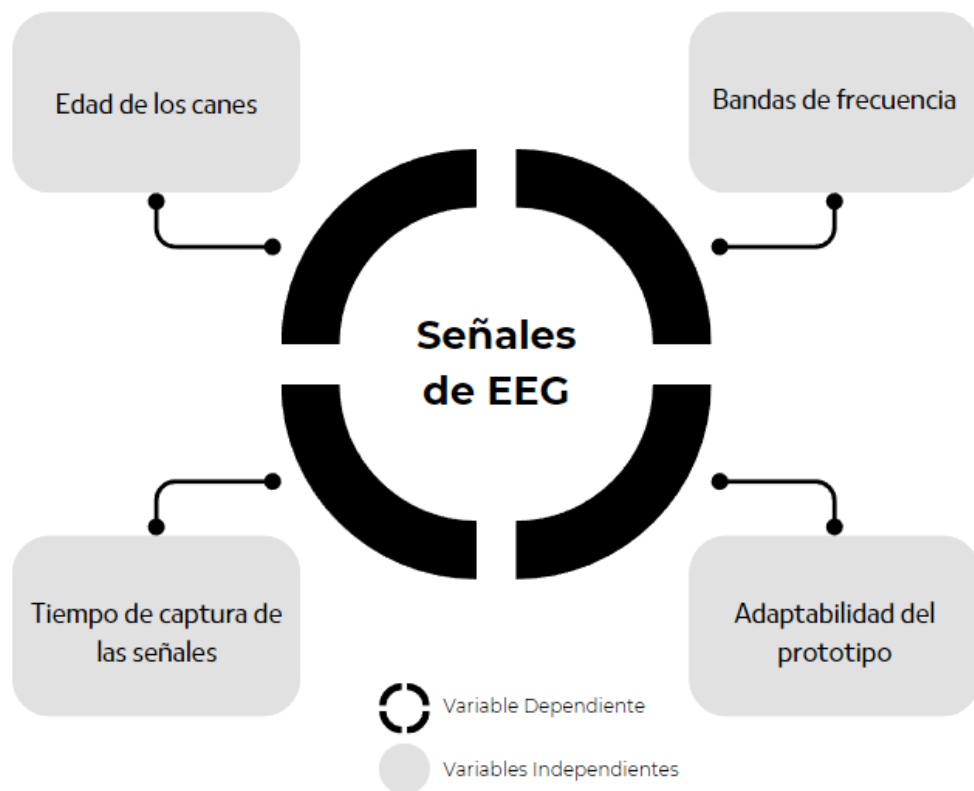
## 4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

### 4.2.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

En el estudio de señales de EEG en caninos, la variable independiente clave es la señal de EEG. Utilizando un prototipo con tecnología NeuroSky, se busca entender cómo la actividad cerebral varía en dos etapas diferentes de la vida canina.

### 4.2.2 VARIABLES DEPENDIENTES

- Edad de los canes: Correspondiente a la edad de los canes que se incluyeron en el estudio.
- Tiempo de captura de las señales: Hace referencia al lapso requerido para la captura y registro de las señales electroencefalográficas de los canes a través del prototipo de EEG. La eficiencia en el tiempo de captura es esencial para garantizar una representación precisa de la actividad cerebral y posibilitar un monitoreo en tiempo real.
- Bandas de Frecuencia: Se refiere a la actividad de cada banda de frecuencia durante las actividades que serán registradas.
- Adaptabilidad del Prototipo: Examinar la capacidad del prototipo para adaptarse y funcionar de manera eficiente.



**Ilustración 2 Variables de Investigación**

Fuente: Elaboración Propia

### 4.3 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

A continuación, se expone la operacionalización de variables (Tabla 3), la cual proporciona una descripción detallada de la definición y relación de las variables de estudio con los objetivos de la investigación. Este enfoque se respalda mediante la aplicación de dimensiones e indicadores establecidos, contribuyendo a fortalecer la validez y la robustez de los resultados que se anticipan obtener.

**Tabla 3 Operacionalización de variables**

<b>Objetivo General</b>	<b>Variable Independiente</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
Desarrollar un prototipo de electroencefalografía (EEG) portátil aplicado en canes para el análisis de la influencia en la edad canina en las respuestas cerebrales ante la exposición de actividades cotidianas.	Señales de EEG	El objetivo se cumple al dar por finalizado el desarrollo del prototipo de EEG con obtención de las señales de buena calidad y el análisis de las señales obtenidas.	Frecuencia de las ondas cerebrales	Frecuencia delta (0.1-4 Hz), theta (4-8 Hz), alpha (8-13 Hz), beta (13-30 Hz), gamma (30-40 Hz) en las señales de EEG
<b>Objetivo Específico</b>	<b>Variable Dependiente</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
Evaluar investigaciones previas y trabajos científicos centrados en la adquisición de señales de electroencefalograma (EEG) en canes.	Edad de los canes	Recopilación de información científica previa, en la obtención y análisis de señales de EEG en canes	Tipo de ondas cerebrales (delta, theta, Alpha, beta, gamma), Frecuencia específica de cada tipo de onda cerebral.	Proporción de cada tipo de onda cerebral en investigaciones anteriores, Frecuencia promedio de ondas cerebrales en canes en estudios revisados.

Continuación de Tabla 3

<b>Objetivo Especifico</b>	<b>Variable Dependiente</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
Definir una metodología adecuada para ensamblar el prototipo de electroencefalograma (EEG) en canes, incorporando la preparación de los componentes, la conexión con la tecnología del chip NeuroSky y el accesorio MindFlex, así como la verificación de su correcto funcionamiento.	Tiempo de captura de las señales	La capacidad del uso formado por el chip NeuroSky y Arduino para la captura de señales cerebrales en canes será crucial para evaluar la eficacia del prototipo. Este dispositivo permitirá recopilar datos neurofisiológicos de los canes, brindando una herramienta para analizar y comprender su actividad cerebral.	Conexión con el chip NeuroSky y el accesorio MindFlex, Verificación del funcionamiento y compatibilidad entre ambos dispositivos	Adquisición y recopilación de datos.
<b>Objetivo Especifico</b>	<b>Variable Dependiente</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
Adquirir señales electroencefalográficas en dos canes pertenecientes a la misma raza, pero diferentes edades para evaluar los parámetros de las señales	Bandas de Frecuencia	La selección específica de canes para el registro de señales EEG, considerando la homogeneidad en la raza y la variabilidad en las edades para analizar los efectos de la cognición canina.	Raza canina (mismo tipo), Edades caninas (diferentes etapas)	Verificar que existe una diferencia significativa en las edades de los canes seleccionados
<b>Objetivo Especifico</b>	<b>Variable Dependiente</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
Desarrollar un prototipo móvil de EEG adaptando la tecnología del chip	Adaptabilidad del prototipo	La capacidad del prototipo móvil de EEG para ajustarse y funcionar eficientemente en	Facilidad de ajuste a diferentes tamaños y razas de canes. Tolerancia a movimientos y cambios de	Respuesta del prototipo ante movimientos bruscos o cambios de posición del can.

Continuación de Tabla 3

Objetivo Especifico	Variable Dependiente	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
NeuroSky para su implementación en canes		el contexto de canes, teniendo en cuenta su Movilidad y características Fisiológicas	Posición del can	

Fuente: Elaboración Propia

## 4.4 RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO

Esta sección detalla el proceso completo utilizado para realizar la investigación, incluyendo los materiales empleados, la selección de la muestra y las técnicas e instrumentos utilizados.

La metodología aplicada constó de diversas etapas con el propósito de diseñar un prototipo eficiente. Se adoptó un enfoque cuantitativo, ya que el enfoque de la investigación se centró en la adquisición y cuantificación de señales cerebrales mientras los canes interactuaban con el prototipo en actividades definidas.

### 4.4.1 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población y muestra estuvo compuesta por canes de una misma raza, con un enfoque en pitbulls, de distintas etapas en cuanto a edad. Se seleccionó una cantidad de (2) canes de raza femenina, y dos etapas diferentes (Cachorro-Adulto) para posteriormente hacer un análisis de las diferentes ondas cerebrales mediante el prototipo elaborado. Lo que hará posible determinar si el prototipo portátil es eficaz en cuanto a la adquisición y recopilación de las señales para su lectura.

### 4.4.2 MATERIALES

- *Mindflex*

*Mindflex* un Accesorio que involucra la tecnología del chip *NeuroSky* representa un dispositivo de entretenimiento que emplea sensores de ondas cerebrales para cuantificar la actividad eléctrica del cerebro y traducirla en señales utilizables para interactuar con dispositivos electrónicos. Con frecuencia, se emplea en aplicaciones de biofeedback o control mental, otorgando a los usuarios la capacidad de dirigir funciones específicas o dispositivos mediante la actividad cerebral. Este dispositivo incorpora un sensor EEG ubicado en la frente del usuario, encargado de medir la actividad eléctrica cerebral y transmitirla a una unidad receptora para su procesamiento previo.

- *Jumpers De Conexión DUNPUNT MH*

Estos cables flexibles, conocidos como jumpers, desempeñan un papel fundamental al establecer conexiones eléctricas entre distintos elementos dentro de un circuito electrónico. Su principal función en el proyecto consistió en posibilitar la

interconexión precisa de varios componentes, tales como el chip NeuroSky junto con el Arduino UNO R3 ATmega328 y el módulo WIFI SHIELD ESP8266 ESP-12 compatible con Arduino.

- *Arduino Uno R3 ATMEGA328*

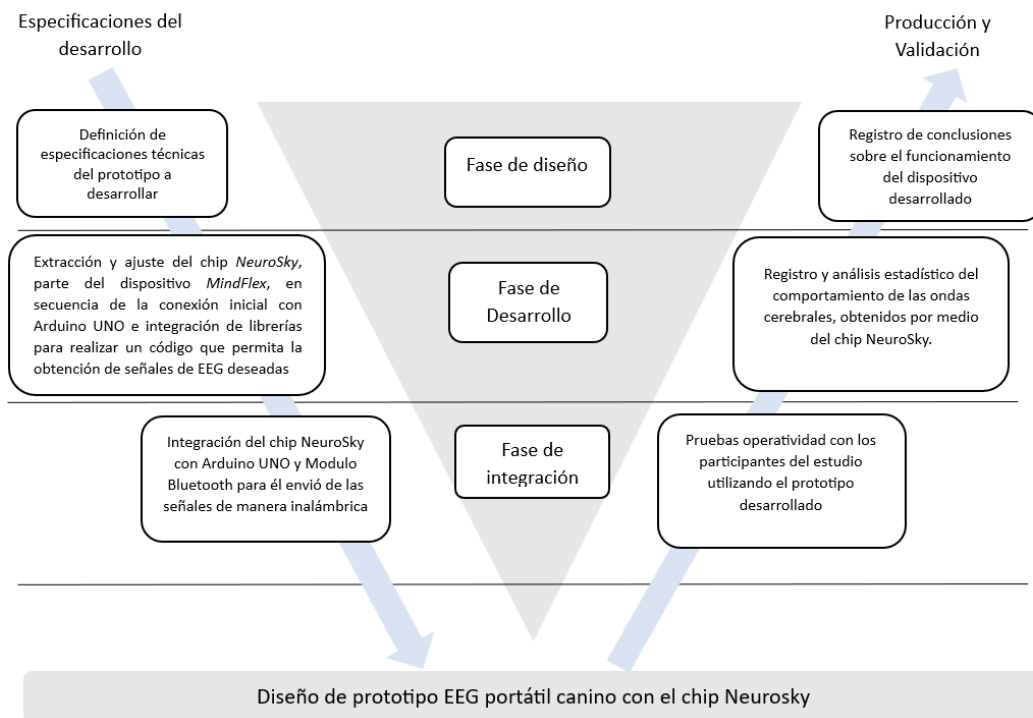
El microcontrolador incorporado en la tarjeta de desarrollo Arduino Uno R3 es el ATmega328. Esta tarjeta ofrece catorce entradas y salidas digitales, de las cuales seis son compatibles con la Modulación de Ancho de Pulso (PWM), y cuenta con seis entradas analógicas. Además, dispone de conectividad USB, un conector de alimentación, un conector ICSP y un botón de Reset. La corriente máxima tanto de salida como de entrada es de 40 mA. En términos de voltaje, opera a 5V, con un rango de alimentación entre 6 y 20 V, siendo óptimo utilizar un voltaje de 7 a 12 V.

- *Módulo Bluetooth HC-05*

EL módulo Bluetooth HC-05, se empleó para comunicar el Arduino con otros dispositivos bluetooth, como smartphones, tablets, ordenadores o incluso en ese caso otro Arduino. Para que funcionara de manera correcta se utilizan dos módulos Bluetooth HC-05 haciendo uso de las referencias en cuanto a las conexiones y la programación.

#### 4.4.3 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

Se optó por emplear el Modelo en V como metodología de estudio para la investigación del proyecto la cual se observa en la (Ilustración 3). Este enfoque metodológico ha sido seleccionado debido a su capacidad para ofrecer una estructura organizada y sistemática en el desarrollo del proyecto.



**Ilustración 3 Metodología en V**

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.4.4 FASE DE DISEÑO

Fue esencial en la investigación establecer los materiales y componentes utilizados durante la fase de diseño. La elección apropiada de materiales desempeña un papel crucial en garantizar la eficacia del sistema, ya que no solo influyen en la capacidad de adquisición y funcionamiento, sino también en la compatibilidad y precisión del mismo. La adecuación de estos materiales asegura una integración precisa, facilitando la captura de las señales necesarias para su procesamiento y control. En consecuencia, esto contribuye a la efectividad y utilidad del sistema final.

#### 4.4.5 FASE DE DESARROLLO

La fase crucial fue la configuración del chip *NeuroSky* incorporado en el Dispositivo de Entretenimiento *MindFlex*, ya que desempeña un papel central en la captura de las señales cerebrales a través del dispositivo. Esta configuración posibilitó el establecimiento de una comunicación serial efectiva entre el dispositivo de entretenimiento *MindFlex* y el microcontrolador *Arduino Uno*, simplificando así la obtención de las señales cerebrales pertinentes.

#### 4.4.6 FASE DE INTEGRACIÓN

Este paso es esencial para establecer una comunicación efectiva entre los componentes, facilitando así la conexión entre el sistema de captura de señales cerebrales y la plataforma de control, lo que permite un seguimiento y procesamiento eficientes de la información recopilada. La vinculación entre el chip NeuroSky y Arduino UNO permite la sincronización armoniosa de la adquisición de señales cerebrales, mientras que la inclusión del módulo Bluetooth posibilita la transmisión inalámbrica de estas señales. Esta interconexión estratégica allana el camino para una comunicación robusta y sin inconvenientes, permitiendo que las señales cerebrales capturadas se transmitan de manera ágil y confiable.

#### 4.4.7 VALIDACIÓN DEL DISEÑO

La adecuación meticulosa de los materiales ha sido sometida a pruebas para asegurar una integración precisa en el diseño. Esto ha facilitado la captura confiable de las señales necesarias para el procesamiento y control del sistema, validando así la efectividad de la elección de materiales. La correlación entre los materiales seleccionados y la calidad de las señales adquiridas ha sido evaluada de manera sistemática, respaldando la coherencia y fiabilidad del sistema.

#### 4.4.8 VALIDACIÓN DEL DESARROLLO

Se llevó a cabo un análisis de señales que eran obtenidas por el chip NeuroSky. Se ha incluido pruebas detalladas para confirmar la correcta extracción y ajuste del chip NeuroSky del dispositivo MindFlex, asegurando su funcionalidad y conectividad óptimas con el Arduino UNO. Además, se han realizado pruebas específicas del código desarrollado, verificando su capacidad para obtener las señales de EEG de manera coherente y confiable.

#### 4.4.9 VALIDACIÓN DE INTEGRACIÓN

En la etapa final del proyecto, ha sido ejecutada de manera meticulosa, centrada en el punto crucial de integración del chip NeuroSky con Arduino UNO y el módulo Bluetooth para la transmisión inalámbrica de señales. Este proceso fue sometido a

pruebas para confirmar la eficacia de la conexión y la comunicación entre estos componentes claves.

Las pruebas de integración han verificado la estabilidad y coherencia de la comunicación entre el chip NeuroSky y Arduino UNO, asegurando una sincronización precisa. Además, se ha evaluado la capacidad del módulo Bluetooth para transmitir las señales de manera inalámbrica de manera confiable.

#### 4.4.10 PROCESO DEL DESARROLLO DEL PROTOTIPO

En esta sección, se presenta el proceso metodológico implementado para la realización del proyecto de investigación. En primer término, se procedió a la configuración del dispositivo MindFlex con el objetivo de habilitar su conexión con el microcontrolador Arduino UNO, mediante la programación de un código específico en el entorno Arduino IDE. Este paso requirió el desarmado de una sección del dispositivo MindFlex para acceder a la placa que albergaba el circuito y las baterías, localizadas en la parte inferior del auricular. Dentro de dicha placa, se identificaron y priorizaron los pines T y R, cuya función es esencial para la comunicación serial con el microcontrolador y la transmisión de datos cerebrales.

Con precisión técnica, se llevó a cabo el proceso de soldadura de un jumper al pin T de la placa, replicándolo para conectar otro jumper al pin de Ground. En lo que respecta a la vinculación con Arduino, el jumper conectado al pin T se enlazó con RX del Arduino, mientras que el cable Ground se conectó al pin correspondiente en el Arduino.

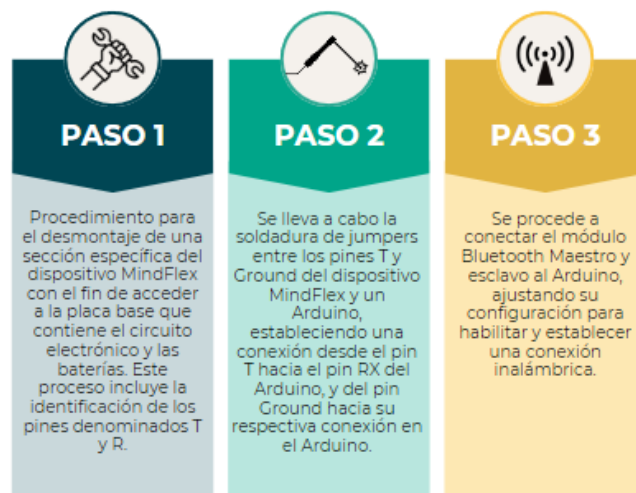
Posteriormente, se procedió a la descarga e integración de las librerías pertinentes, seguido de una prueba de conexión para validar la interoperabilidad con éxito. Este enfoque garantizó una conexión entre el dispositivo MindFlex y el microcontrolador Arduino, estableciendo así las bases técnicas para la captura efectiva de datos cerebrales durante la ejecución del proyecto.

Una vez que la conexión del Arduino y el chip NeuroSky estén en correcto funcionamiento, se procedió a la toma y recolección de datos. En secuencia se llevaron a cabo varias pruebas prácticas en los canes como sujetos de prueba. Durante las

pruebas, se buscó que el prototipo se colocara sin problema alguno en los canes para el monitoreo de la señal del EEG.

#### 4.5 IMAGEN DEL PROCESO

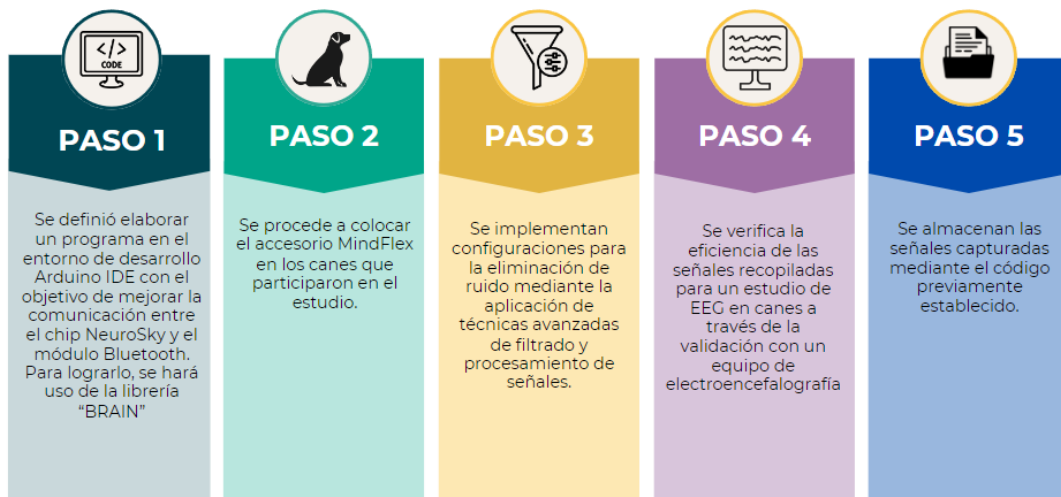
El desarrollo del proyecto se estructuró en tres etapas distintas. En la primera fase, definida como Etapa 1, se llevó a cabo el ensamblaje del prototipo. Esta etapa implicó la interconexión interna de los componentes, así como su configuración (Ilustración 4).



**Ilustración 4 Etapa 1 – Montaje del prototipo**

Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente en la siguiente etapa (Ilustración 5) se llevó a cabo la adquisición, validación y almacenamiento de las señales electroencefalográficas de los canes y las configuraciones de acuerdo a códigos para la adquisición y el procesamiento de las señales.



**Ilustración 5 – Etapa 2 Adquisición, validación y almacenamiento en la nube**

Fuente: Elaboración propia

Luego se planifica la última etapa del proceso (Ilustración 6), en esta fase luego de la obtención de los datos de las señales almacenadas durante la etapa anterior, se realizará una documentación de todo el proceso de análisis, que incluye los códigos utilizados y también las técnicas de procesamiento. Así como también se procede a introducir los datos en el software de minitab con el fin de llevar a cabo un análisis estadístico.

Posteriormente, se procede a realizar un análisis comparativo entre los resultados que se obtuvieron. Esto permitiendo evaluar el sistema y su eficiencia para respaldo de las conclusiones del estudio.



**Ilustración 6 Etapa 3 – Análisis estadístico**

Fuente: Elaboración Propia

## **4.6 MÉTRICAS DE EVALUACIÓN**

### **4.6.1 BANDAS FRECUENCIA**

Para evaluar la variable "Rango de frecuencias", se empleará el análisis de varianza (ANOVA), que permitirá examinar las diferencias en las medias de las variables de interés entre los grupos definidos por diferentes rangos de frecuencia. Estos análisis ayudarán a identificar si las variaciones en el rango de frecuencias tienen un impacto observable en las respuestas registradas.

### **4.6.2 EDAD DE LOS CANES**

La evaluación de la influencia de la edad en la respuesta cerebral de los canes se realizará observando los datos recolectados de dos canes de diferentes edades, uno mayor de 6 años y otro de 9 meses. A través de análisis estadísticos, se identificarán posibles diferencias, patrones o anomalías que puedan surgir debido a la diferencia de edad.

### **4.6.7 LATENCIA DE COMUNICACIÓN**

La latencia en la comunicación se refiere al tiempo que tarda una señal cerebral generada por el canino en ser transmitida de manera inalámbrica desde el dispositivo de captura (NeuroSky) hasta el dispositivo receptor (Arduino, Bluetooth). La latencia en la comunicación se mediría registrando el momento exacto en el que los canes perciben el estímulo (Actividades cotidianas) y comparándolo con el momento en que la señal EEG asociada a esa percepción es recibida y procesada por el dispositivo receptor.

La latencia en este caso sería la diferencia de tiempo entre el momento de la percepción del estímulo y el momento en que la señal EEG es procesada. Minimizar esta latencia es crucial para lograr una interpretación en tiempo real de las respuestas cerebrales del canino y mejorar la efectividad de la aplicación, especialmente en situaciones donde se requiere una retroalimentación rápida.

## **4.7 MÉTRICAS DE VALIDACIÓN**

### **4.7.1 ANÁLISIS DE VARIANZA ANOVA**

Se calcularán las medias para cada grupo de frecuencias y se compararán sus valores para detectar patrones o tendencias significativas. Se generará también un gráfico que muestre los valores observados en función del rango de frecuencias, facilitando la visualización de posibles correlaciones entre estas variables. La confirmación de diferencias significativas en las medias y la presencia de patrones consistentes en el gráfico apoyarán la validez de los rangos de frecuencias como un factor relevante en la explicación de las respuestas observadas.

### **4.7.2 GRÁFICO DE VALORES**

Se validarán los resultados obtenidos en la evaluación por medio de pruebas estadísticas que confirmen la significancia de las diferencias observadas. Esta validación es crucial para afirmar con seguridad si la edad tiene un impacto directo en las respuestas cerebrales medidas por el EEG en las actividades cotidianas.

### **4.7.3 TIEMPO**

La validación de la latencia en la comunicación se llevará a cabo asegurando que el tiempo de transmisión es lo suficientemente rápido para permitir una interpretación en tiempo real de las respuestas cerebrales. Esta métrica es fundamental, especialmente en aplicaciones que requieren retroalimentación inmediata, y se validarán los esfuerzos para minimizar esta latencia a través de ajustes técnicos en el hardware y software utilizados.

## **V. RESULTADOS**

En la etapa de resultados, se revelan las observaciones clave y los descubrimientos surgidos del riguroso proceso de desarrollo y evaluación del prototipo de EEG canino. Este dispositivo vanguardista, concebido para la monitorización electroencefalográfica en canes, fue sometido a pruebas y validaciones detalladas. Los resultados presentados abarcan aspectos esenciales, como la precisión de las mediciones, la capacidad de respuesta del sistema ante diversas condiciones y la eficacia general del dispositivo en la identificación de patrones cognitivos en diferentes entornos.

### **5.1 DEFINICIÓN DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PROTOTIPO**

#### **5.1.1 SELECCIÓN DE MATERIALES**

Los materiales que fueron seleccionados para el diseño y desarrollo del prototipo se fundamentaron en proyectos relacionados con la interfaz cerebro-computadora. El objetivo principal de esta sección fue identificar los materiales que tuvieran la mejor compatibilidad con el diseño del prototipo propuesto, con el fin de lograr hacer un prototipo inalámbrico en conjunto a otros componentes que no afectaran a los canes.

##### **5.1.1.1 ARDUINO UNO**

El Arduino UNO destacó por su fácil accesibilidad y capacidad para poder integrarse con cualquier tipo de sistemas, en la siguiente tabla se desglosan sus especificaciones técnicas (Tabla 4). La placa de Arduino UNO permite la implementación de interfaces personalizados para la adquisición y el análisis de datos cerebrales. La presencia de bibliotecas de código abierto complementaba estas características, haciendo más sencillo el desarrollo de soluciones personalizadas destinadas a la investigación y procesamiento de señales cerebrales.

La flexibilidad y la capacidad de integración sin complicaciones de Arduino funcionan como un vínculo eficaz entre el hardware de MindFlex. Esta colaboración de tecnológica proporciona una solución avanzada, accesible y adaptable para la recepción y adquisición de señales EEG.

**Tabla 4. Especificaciones Técnicas Arduino UNO**

<b>Especificaciones técnicas de Arduino UNO</b>	
<b>Microcontrolador</b>	ATmega328P
<b>Chip USB</b>	ATmega16U2
<b>Voltaje de Alimentación</b>	6-20V
<b>Voltaje de Operación</b>	5V
<b>Pines Digitales</b>	14 con 6 salidas PWM
<b>Velocidad de Reloj</b>	16Mhz
<b>Memoria EEPROM</b>	1k
<b>Memoria SRAM</b>	2k
<b>Memoria Flash</b>	32k
<b>Corriente Máxima De Entrada/Salida</b>	40mA

Fuente: Elaboración Propia

#### 5.1.1.2 MÓDULO BLUETOOTH HC-05

El módulo bluetooth destacó por su eficiencia al establecer conexiones inalámbricas seguras y fiables, permitiendo una transmisión de datos desde el dispositivo como los electroencefalogramas (EEG) conectadas al Arduino hacia dispositivos externos (Tabla 5). La capacidad inalámbrica de este módulo facilitó la transferencia de datos de manera segura del sistema BCI a otros dispositivos.

La combinación entre el microcontrolador Arduino y el Módulo Bluetooth habilitó una comunicación bidireccional fluida entre el dispositivo BCI y los dispositivos externos encargados para el procesamiento y análisis de datos cerebrales. Los programas encargados para la interpretación de procesar los datos, facilitaron el desarrollo para el análisis de las señales capturadas.

**Tabla 5. Especificaciones Técnicas Modulo Bluetooth HC-05**

<b>Especificaciones técnicas Módulo Bluetooth HC-05</b>	
<b>Bluetooth</b>	V2.0+EDR
<b>Consumo de corriente</b>	50mA
<b>Voltaje de operación</b>	3.6-6V DC
<b>Frecuencia</b>	Banda ISM 2.4 Ghz
<b>Modulación</b>	GFSK
<b>Alcance</b>	10m
<b>Velocidad de transmisión</b>	1200bps hasta 1.3Mbps
<b>Comunicación de interfaz</b>	Serial TTL
<b>Sensibilidad</b>	-84dBm a 0.1 BER

Fuente: Elaboración Propia

### 5.1.1.3 MINDFLEX

El dispositivo de entretenimiento Mindflex, el cual sobresalió por su capacidad para registrar señales cerebrales, destacó ya que proporcionó una interfaz de entrada no invasiva y accesible para captar dichas señales (Tabla 6). El Mindflex empleó sensores de ondas cerebrales que posibilitaron la detección y medición de la actividad cerebral, convirtiendo estas señales en datos interpretables para su utilización en el sistema de Interfaz Cerebro-Computadora (BCI). Esta funcionalidad permitió la interacción entre la actividad cerebral del usuario y el control del sistema de iluminación residencial. Además, su diseño ergonómico y facilidad de uso contribuyeron a una integración precisa en el desarrollo del proyecto.

**Tabla 6. Especificaciones técnicas del MindFlex**

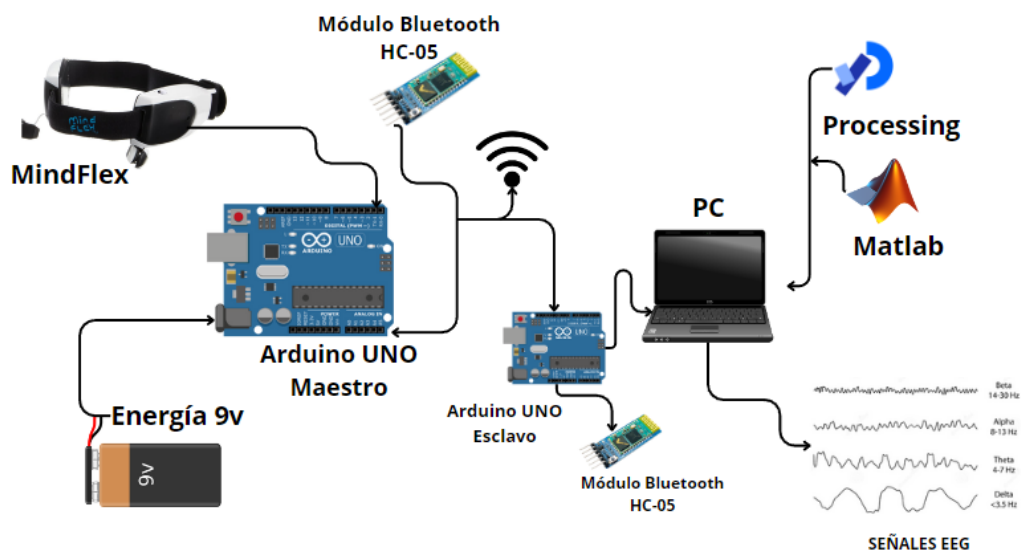
<b>Especificaciones técnicas del MindFlex</b>	
<b>Tipo de Dispositivo</b>	BCI
<b>Tecnología</b>	EEG
<b>Indicadores Visuales</b>	Entretenimiento
<b>Frecuencia de Muestreo</b>	Bluetooth
<b>Modos de Operación</b>	Luces LED
<b>Interfaz Inalámbrica</b>	128-512 Hz

Fuente: Elaboración Propia

Una vez seleccionados los materiales y componentes a implementar en el sistema se procedió con la fase del diseño del sistema. En esta fase se implicó la materialización de todos los elementos previamente identificados. Se llevó a cabo la combinación de la selección de materiales con la configuración física del sistema, tal como se detalló anteriormente.

## **5.2 DISEÑO DEL SISTEMA**

En la etapa de diseño del sistema representó una fase fundamental en el desarrollo del prototipo de EEG canino. Se diseño tomando en consideración los materiales antes mencionados (Sección 5.1.1). Donde se describió minuciosamente la disposición y la conexión de los componentes fundamentales.



**Ilustración 7 Diseño del sistema**

Fuente: Elaboración Propia

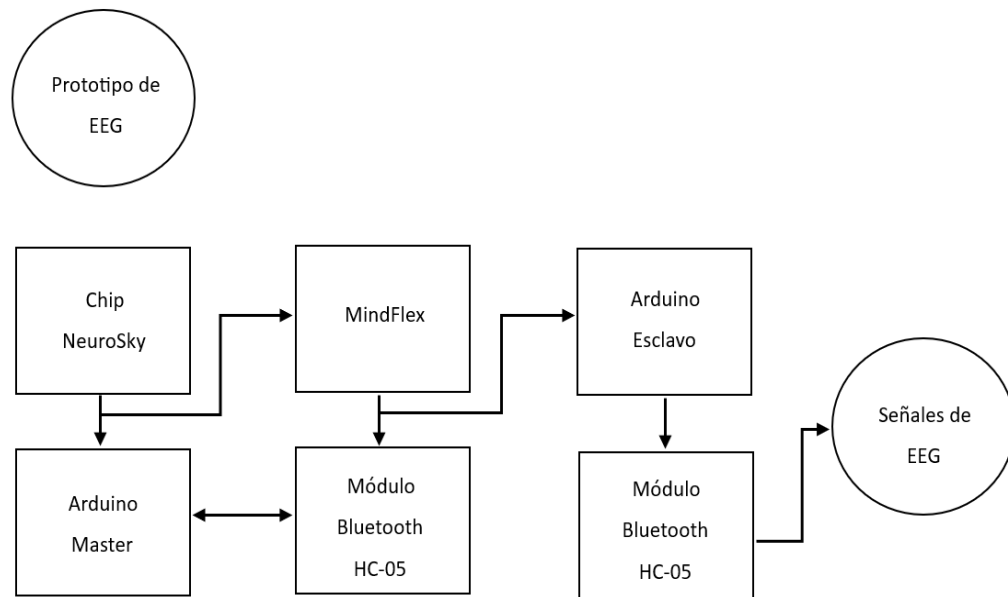
Durante esta fase, se llevaron a cabo la elección e integración del hardware, así como el diseño e implementación del código de programación.

Como resultado de esto, se avanzó con la elaboración del diseño esquemático y físico del sistema. El diseño esquemático se realizó para proporcionar una representación visual y permitir el análisis del comportamiento del sistema en entornos reales, antes de su uso físico. Este procedimiento se llevó a cabo con el objetivo de validar y perfeccionar el diseño, buscando así minimizar los costos y los tiempos asociados al desarrollo del proyecto.

### 5.2.1 DISEÑO ESQUEMÁTICO DEL PROTOTIPO

Anteriormente (Sección 5.2) con lo descrito, se realizó un diseño esquemático con los elementos constituyentes del prototipo para asegurar la funcionalidad integral del sistema. Este enfoque metodológico fue adoptado con el fin de garantizar una visión integral y precisa de la operatividad de los componentes integrados en el prototipo.

Dentro del esquema diseñado (Ilustración 8), se llevó a cabo la visualización detallada de las interconexiones entre los componentes, esto permitió tener una perspectiva más clara sobre la función específica de cada elemento para el correcto funcionamiento.



**Ilustración 8. Diseño Esquemático**

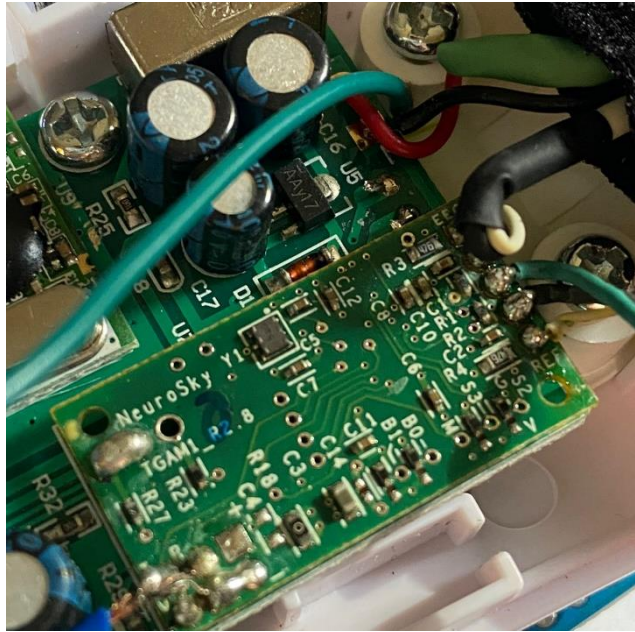
Fuente: Elaboración Propia

Este prototipo era responsable de recibir la data del Arduino conectado a MindFlex. En consecuencia estos datos eran procesados por un código de programación diseñado para capturar los datos de la onda Delta, Theta, Beta, Gamma, low Alfa, high Alfa, low beta, high beta, incluso los niveles de concentración y meditación. Dichos datos eran enviados de manera inalámbrica gracias al módulo bluetooth, que recibía y almacenaba estas señales para su posterior envío a la PC.

### 5.2.2 DISEÑO FÍSICO DEL PROTOTIPO

Se procedió al montaje del prototipo físico del sistema, implementando un diseño exitoso y funcional. Este prototipo involucró el ensamblaje y las interconexiones de los componentes, con el fin de garantizar una comunicación eficiente entre el dispositivo de entretenimiento MindFlex y los demás componentes, hasta obtener el envío de las señales de manera inalámbrica para su mayor comodidad y adaptabilidad del prototipo.

Lo primero a realizarse fue la conexión del chip NeuroSky al Arduino (Ilustración 9). En consecuencia esto permitió la comunicación entre ambos dispositivos, obteniendo una recolección de señales cerebrales.



**Ilustración 9. Conexión Chip NeuroSky al Arduino**

Fuente: Elaboración Propia

### **5.3 ADQUISICIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL CHIP NEUROSKY Y CONEXIÓN INICIAL CON ARDUINO UNO**

#### **5.3.1 CONFIGURACIÓN DEL MINDFLEX**

En el proceso de configuración con el dispositivo de entretenimiento MindFlex, se procedió a seguir una serie de pasos técnicos que implicaron la manipulación precisa de los componentes electrónicos internos. Este proceso tenía como objetivo modificar el hardware para interceptar y decodificar la actividad cerebral registrada por el chip NeuroSky que se encuentra dentro del auricular.

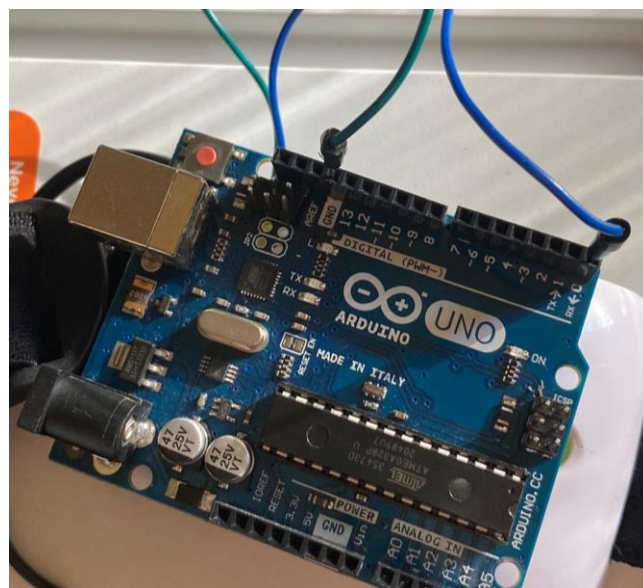
En consecuencia, se visualizó la placa NeuroSky Board, la cual está ubicada en la parte izquierda del headset. En ella se observaron los componentes los cuales permitieron la funcionalidad eficiente del dispositivo. Dentro de ello se identificaron los pines T y R, estos pines son utilizados por la placa del EEG para la comunicación de forma serial con el microcontrolador de la placa principal (Ilustración 10). Por último, se identificó el pin que conectaba a tierra, con el fin de que el dispositivo pueda interactuar directamente con el Arduino UNO.



**Ilustración 10. Identificación de pines T y R**

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, cuando se identificaron los pines correspondientes, se procedió a soldar, para ello se utilizaron jumpers, en donde se soldó el pin T y el pin de tierra, para dar por finalizado las conexiones con el Arduino. Una vez estaban las conexiones antes mencionadas, el pin T se conectó al pin RX del Arduino (Ilustración 11), este pin era el responsable de obtener las ondas cerebrales y enviarlas al Arduino, en consecuencia el pin de tierra se conectó al GND del Arduino. Los pasos anteriores conllevaron modificaciones en la estructura física del sistema de hardware, lo que logró la integración y sincronización entre los componentes electrónicos y el dispositivo controlador.

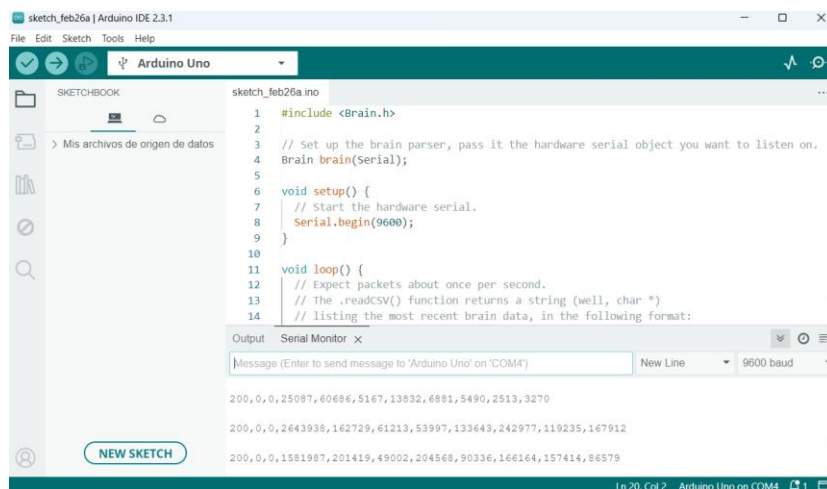


**Ilustración 11. Conexión pines Rx y GND del Arduino**

Fuente: Elaboración propia

Para poder validar la eficiencia de las conexiones entre los sistemas, se optó por la descarga de la librería "Brain" en el entorno del desarrollador Arduino IDE. Se implementó la librería antes mencionada por su compatibilidad probada con el chip NeuroSky que se encuentra integrado en el dispositivo de entretenimiento MindFlex. Una vez descargada la librería, se procedió a ejecutar el código denominado "BrainSerialOut". Este código desempeña la fácil configuración de la interfaz BCI y el Arduino (Ilustración 12). Se logró a través de esta interfaz, la adquisición precisa de los datos de las señales cerebrales necesarios para poder llevar a cabo un análisis preciso y sistemático durante la fase experimental.

El código funciona como una prueba en la lectura y procesamiento de los datos obtenidos por el MindFlex, haciendo una recopilación de la información cerebral. Este código realiza una conversión de datos binarios sin procesar procedentes del chip NeuroSky a una cadena de caracteres ASCII, diseñada con valores delimitados por comas.



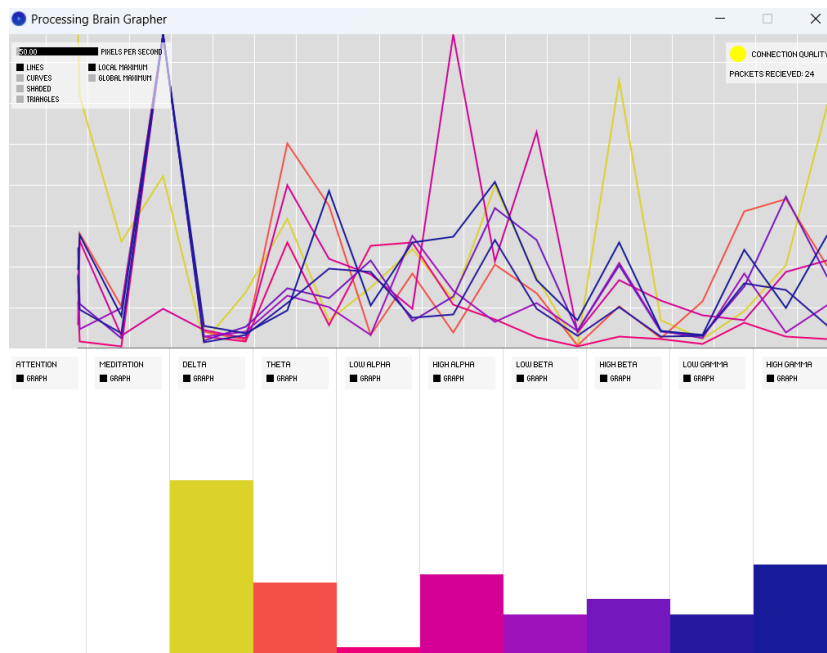
**Ilustración 12. Descarga y código de la librería Brain**

Fuente: Elaboración Propia

La función principal del código es configurar y establecer una comunicación entre el dispositivo de entretenimiento MindFlex, con el chip NeuroSky, y la placa Arduino a través de la librería que se mencionó anteriormente. En la fase de configuración denominada "setup", se inicia la comunicación serial a una velocidad de 9600 baudios mediante la función "Serial.begin(9600)". Esta acción establece la comunicación serial para posibilitar la transmisión y recepción de datos entre el Arduino y el dispositivo externo.

Dentro del segmento principal del código, contenido en la función "loop", se establece una espera activa para la recepción de paquetes de datos aproximadamente cada segundo. La función "brain.update()" se encarga de verificar la disponibilidad de datos recientes. Cuando se detecta la presencia de datos actualizados, entra en acción la función "brain.readCSV()", la cual devuelve una cadena de caracteres con formato CSV (valores separados por comas), incorporando la información más reciente proveniente del chip NeuroSky.

La información incluye fuerza de la señal, incluso los niveles de meditación y atención y las mediciones de ondas cerebrales (delta, theta, alta y baja alfa, alta y baja beta y alta y baja gamma). Estos datos son enviados a través del puerto serial en consecuencia se imprimen en la consola serial del Arduino, en la cual se utiliza la función «Serial.println».



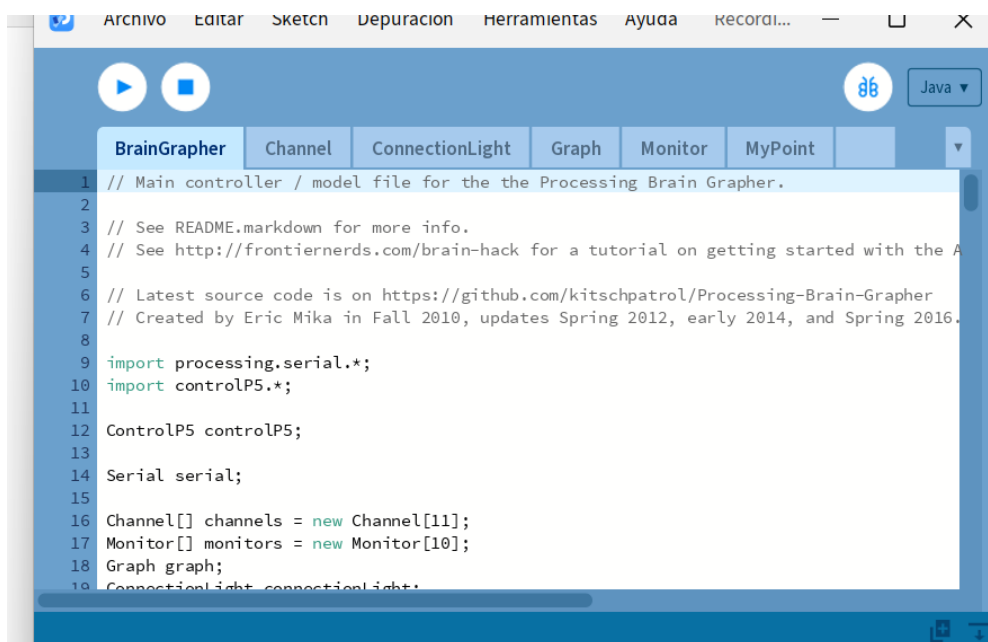
**Ilustración 13. Data rangos cerebrales**

Fuente: Elaboración Propia

Una vez adquiridos los datos de los rangos cerebrales (Ilustración 13), se procedió al análisis para comprender el comportamiento y las características de las ondas que eran visualizadas.

### 5.3.2 VERIFICACIÓN DE PRUEBAS DE ONDAS CEREBRALES

La verificación de prueba de las ondas se llevó a cabo a través del software Processing el cual se instaló para el análisis de las señales. Se optó por el software Processing ya que muestra como este software es compatible con la placa Arduino y con el chip NeuroSky. Este software funcionó como una pieza importante para observar y analizar de manera grafica la actividad cerebral que es capturada por el chip NeuroSky. La instalación del software Processing incluye unas librerías para poder visualizar de manera eficiente la data que está siendo recopilada por el Arduino y enviada por el módulo Bluetooth (Ilustración 14). Para poder visualizar las señales se hizo uso del código "Brain\_grapher.pde" que se encontraba en la librería antes mencionada, este abre un visualizador en Processing para representar las ondas cerebrales. Este visualizador fue desarrollado para el funcionamiento con los datos obtenidos del código "BrainSerialOut" en Arduino.



```
1 // Main controller / model file for the the Processing Brain Grapher.
2
3 // See README.markdown for more info.
4 // See http://frontiernerds.com/brain-hack for a tutorial on getting started with the A
5
6 // Latest source code is on https://github.com/kitschpatrol/Processing-Brain-Grapher
7 // Created by Eric Mika in Fall 2010, updates Spring 2012, early 2014, and Spring 2016.
8
9 import processing.serial.*;
10 import controlP5.*;
11
12 ControlP5 controlP5;
13
14 Serial serial;
15
16 Channel[] channels = new Channel[11];
17 Monitor[] monitors = new Monitor[10];
18 Graph graph;
19 ConnectionLight connectionLight;
```

**Ilustración 14. Librerías del Software Processing**

Fuente: Elaboración Propia

La función principal de este código radica en establecer la interfaz de comunicación entre el Arduino y el dispositivo MindFlex. Se hace uso de la biblioteca "Brain" para inicializar la comunicación serial y recopilar datos cerebrales provenientes del MindFlex. Además, se utiliza la biblioteca "ControlP5" para gestionar y manipular

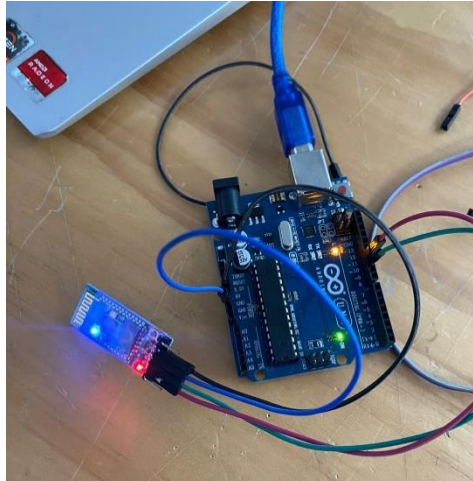
elementos gráficos, tales como monitores y gráficos de monitoreo de canales. Este archivo se encarga de supervisar la adquisición de datos cerebrales y organiza su presentación visual mediante monitores y gráficos dentro de una interfaz de usuario. Además de esto, incorpora una lógica para procesar y registrar los datos recopilados, permitiendo su visualización en tiempo real a través de gráficos y monitores dinámicos. Estos elementos representan diversos aspectos de la actividad cerebral proporcionados por el dispositivo MindFlex.

En el curso de las pruebas de ondas realizadas, se lograron identificar los intervalos de las ondas cerebrales vinculados con diversas actividades mentales. Utilizando el software Processing, se consiguió representar visualmente las variaciones de estas ondas de manera gráfica, proporcionando una percepción clara de cómo cambian simultáneamente en relación con el estado mental experimentado por el individuo. Este programa simplificó la comprensión de las fluctuaciones en las ondas, exhibiendo su dinámica en tiempo real en correspondencia con el estado de los canes.

#### **5.4 INCORPORACIÓN DEL MÓDULO BLUETOOTH CON ARDUINO UNO E INTEGRACIÓN DEL CHIP NEUROSKY**

Durante el proceso de incorporación del módulo bluetooth, se llevó a cabo una serie de etapas para poder establecer las conexiones efectivas de los módulos HC-05 en ambos Arduino tanto en maestro como esclavo. Para comenzar se inició la configuración de los módulos utilizando comandos AT dentro del serial monitor del desarrollador Arduino IDE. Se implementó una configuración donde el módulo HC-05 se designó como maestro en el Arduino que está conectado al MindFlex, el otro módulo igual HC-05 se designó como esclavo que iba conectado a la PC para poder captar las señales que estaba recibiendo el chip NeuroSky.

La integración de los módulos bluetooth con Arduino se realizó de manera física como mediante programación. En cuanto al aspecto físico, se llevó a cabo las interconexiones de los módulos a los Arduino (Ilustración 15). Esta interconexión se realizó siguiendo las especificaciones técnicas de conexiones adecuadas para poder garantizar un flujo efectivo de datos entre los dispositivos.

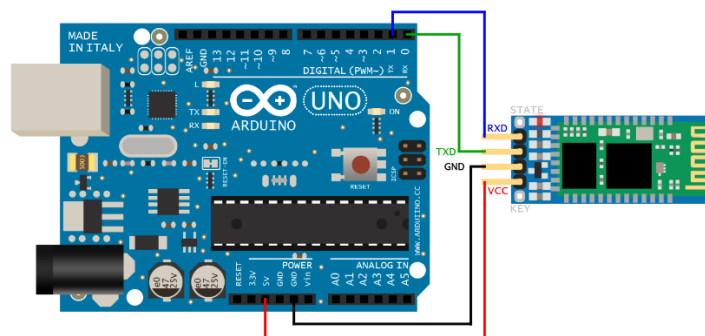


**Ilustración 15. Interconexiones Módulos Bluetooth con Arduino**

En el proceso de desarrollo, se utilizó el entorno de desarrollo Arduino IDE para programar los dispositivos. Se creó un código personalizado que posibilitó la gestión de la información proveniente del chip NeuroSky mediante los módulos Bluetooth. Este código facilitó la transmisión de señales desde el dispositivo principal al secundario, estableciendo así una comunicación efectiva entre los componentes. La programación desempeñó un papel crucial al permitir el control y la activación de un relé, el cual enciende un foco en respuesta a las señales cerebrales captadas por el chip NeuroSky.

#### 5.4.1 DISEÑO CONEXIONES ELÉCTRICAS

Se elaboró un diseño en la plataforma Tinkercad para las conexiones establecidas del módulo Bluetooth HC-05 a ambos Arduino con el fin de obtener un diseño integral de las conexiones realizadas (Ilustración 16).



**Ilustración 16. Conexiones eléctricas del módulo Bluetooth HC-05 en Diagrama**

Fuente: Elaboración Propia

## 5.5 PRUEBAS Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA

### 5.5.1 DATOS DE LA MUESTRA EVALUADA

Las variaciones de las señales electroencefalográficas (EEG) entre dos canes dependió de un factor, siendo la edad. En el caso del can pequeño su edad influía debido al desarrollo cerebral, que está en proceso aún. Mientras que la del can mayor tiene las señales cerebrales en un mayor desarrollo debido a la edad.

La interpretación precisa de cualquier variación en las señales de EEG requería conocimientos especializados en medicina veterinaria y el bienestar emocional de los canes mientras se llevaba a cabo la toma de medidas ya que fue una prioridad para obtener resultados (Tabla 7).

**Tabla 7. Datos de los participantes**

<b>Raza</b>	<b>Peso</b>	<b>Edad</b>
Pitbull	28kg	5 años
Pitbull	10 kg	9 meses

Fuente: Elaboración propia

### 5.5.2 RECOLECCIÓN DE DATOS

Durante la fase de recolección de datos en el estudio, se procedió a capturar las señales cerebrales de los canes en un intervalo de un minuto. Para llevar a cabo el proceso, se empleó el dispositivo de entretenimiento MindFlex, el cual se configuró y se utilizó como la herramienta principal para la adquisición de las ondas cerebrales de los canes. Este dispositivo se integró con un sistema de recolección de datos, junto con la programación establecida en el software de desarrollo de Arduino IDE.

La programación fue establecida para poder leer o captar las señales que el chip NeuroSky transmitía a través del MindFlex, permitiendo así la lectura y recolección de datos de las ondas durante actividades definidas para el análisis de ellas.

El MindFlex fue colocado en la cabeza de los canes mediante el uso de una sujeción en forma de diadema incorporada del MindFlex debido al tamaño de la estructura de la cabeza de los canes, para la correcta colocación del dispositivo se

requería que este estuviera en contacto con la parte frontal del cerebro del can, si este dispositivo se encontraba muy atrás no capturaba las señales de los canes.

Por lo tanto, se recomienda que la diadema tenga un ajuste de manera que los sensores del dispositivo tengan contacto con la parte frontal del cerebro.

El puerto de tierra del dispositivo MindFlex que es colocado en la oreja, es lo mismo para el can, se sujetó ese clip en la oreja siempre y cuando adecuándolo a modo que estuviera en contacto con más piel que pelo.

Luego se procedió a la captura de las señales con la integración de los módulos bluetooth en ambos Arduino. Esta integración de módulos permite la transferencia inalámbrica de datos desde dispositivos como el MindFlex, capaz de registrar la actividad cerebral, hacia el Arduino. Esta comunicación facilitó la transmisión de información entre el chip NeuroSky y el Arduino, lo que posibilitó el procesamiento y análisis de las señales neuronales en tiempo real (Ilustración 17).



**Ilustración 17. Colocación del MindFlex en el Canino**

Fuente: Elaboración propia

### 5.5.3 PROGRAMACIÓN EN ARDUINO MAESTRO

La programación del Arduino UNO, se basó en el siguiente código (Ilustración 18). El código utiliza la misma librería antes mencionada solo que en conjunto con nuevas

líneas para el emparejamiento del bluetooth que está recibiendo los datos del chip NeuroSky y que hará un envío al Arduino esclavo. Así mismo las líneas agregadas al código indican la lectura de todas las ondas desde atención y meditación hasta las últimas ondas que se visualizan en Processing, todo esto para que las señales que se perciban durante las actividades las recolecte y sean capturadas por el módulo bluetooth que está conectado al Arduino maestro y pueda enviarlas al Arduino esclavo.

```

1  #include <SoftwareSerial.h>
2  #include <Brain.h>
3
4  SoftwareSerial bluetoothSerial(10, 11); // TX, RX para el módulo Bluetooth HC-05
5  Brain brain(Serial);
6
7  void setup() {
8      Serial.begin(9600);
9      bluetoothSerial.begin(9600); // Velocidad de comunicación Bluetooth
10
11     // Configuración del nombre y la contraseña del módulo Bluetooth maestro
12     bluetoothSerial.print("AT+NAME=MASTER\r\n");
13     delay(500);
14     bluetoothSerial.print("AT+PSWD=12345678\r\n");
15     delay(500);
16 }
17
18 void loop() {
19     if (brain.update()) {
20         Serial.println(brain.readErrors());
21         String brainData = brain.readCSV();
22         Serial.println(brainData);
23
24         // Envía los datos al Arduino esclavo a través del Bluetooth
25         bluetoothSerial.print(brainData);
26
27         // Obtener los valores de las ondas deseadas
28         int attentionValue = getValue(brainData, 1); // Atención (Attention)
29         int meditationValue = getValue(brainData, 2); // Meditación (Meditation)
30         int deltaValue = getValue(brainData, 3); // Delta
31         int thetaValue = getValue(brainData, 4); // Theta
32         int lowAlphaValue = getValue(brainData, 5); // Alfa bajo (low Aloha)

```

**Ilustración 18. Código para captura y envío de datos**

Fuente: Elaboración propia

```

// Enviar los valores por Bluetooth
BTSerial.println(attentionValue);
BTSerial.println(meditationValue);
BTSerial.println(deltaValue);
BTSerial.println(thetaValue);
BTSerial.println(lowAlphaValue);
BTSerial.println(lowBetaValue);
BTSerial.println(highBetaValue);
BTSerial.println(lowGammaValue);
BTSerial.println(highGammaValue);
}
}

int getValue(String data, int index) {
    int found = 0;
    int strIndex[] = {0, 1};
    int maxIndex = data.length() - 1;

    for (int i = 0; i <= maxIndex && found <= index; i++) {
        if (data.charAt(i) == ',' || i == maxIndex) {
            found++;
            strIndex[0] = strIndex[1] + 1;
            strIndex[1] = (i == maxIndex) ? i + 1 : i;
        }
    }
    return found > index ? data.substring(strIndex[0], strIndex[1]).toInt() : 0;
}

```

**Ilustración 19. Seguimiento de líneas de código para la configuración del Mindflex**

Fuente: Elaboración propia

#### 5.5.4 PROGRAMACIÓN ARDUINO ESCLAVO

Para la programación del Arduino esclavo, que era el que actuaba como receptor de las señales que a través del bluetooth del Arduino Maestro enviaba, este capturaba los valores que el sensor de EEG captaba del can, para luego guardarlos y crear un csv

con los datos que se obtenían en un período de registro. El código constaba de líneas para la conexión y emparejamiento del Arduino Maestro al Arduino esclavo (Ilustración 20).

```
1  #include <SoftwareSerial.h>
2
3  SoftwareSerial bluetoothSerial(10, 11); // TX, RX para el módulo Bluetooth HC-05
4
5  void setup() {
6    Serial.begin(9600);
7    bluetoothSerial.begin(9600);
8
9    // Configuración del nombre y la contraseña del módulo Bluetooth esclavo
10   bluetoothSerial.print("AT+NAME=SLAVE\r\n");
11   delay(500);
12   bluetoothSerial.print("AT+PSWD=12345678\r\n");
13   delay(500);
14 }
15
16 void loop() {
17   if (bluetoothSerial.available()) {
18     int receivedValue = bluetoothSerial.parseInt(); // leer el valor recibido por bluetooth
19     // Lee los datos recibidos por Bluetooth
20     String datosDesdeMaestro = bluetoothSerial.readStringUntil('\n');
21
22     // Guarda los datos en un archivo CSV en la computadora
23     guardarDatosEnCSV(datosDesdeMaestro);
24   }
25 }
26
27 void guardarDatosEnCSV(String data) {
28   // Abre el puerto serial hacia la computadora
29   Serial.println(data);
30 }
31
```

**Ilustración 20. Código para la captura de las señales enviadas por el Maestro**

Fuente: Elaboración propia

## 5.6 ANÁLISIS DE LAS SEÑALES OBTENIDAS

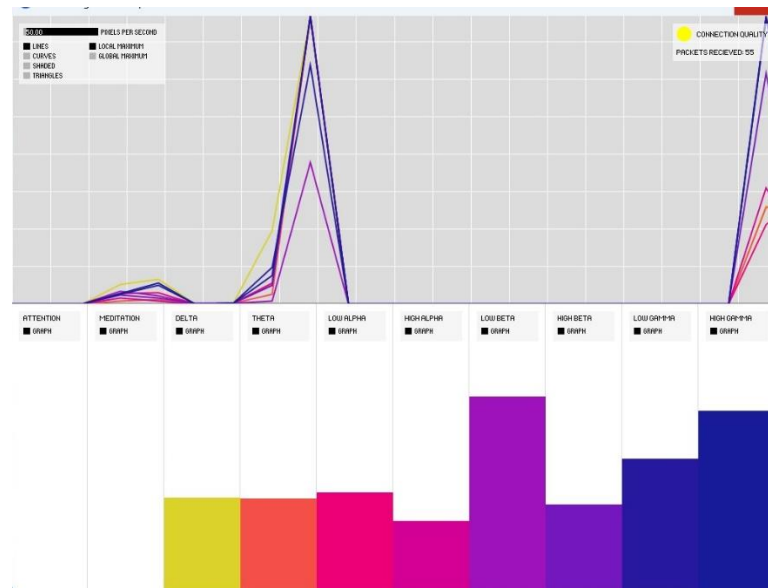
En cuanto al procesamiento de señales cerebrales en entornos de programación como el software Processing, contiene una eficaz investigación neurocientífica. Estas señales, obtenidas gracias al dispositivo MindFlex y al chip incorporado NeuroSky, representan la actividad eléctrica del cerebro, captando biopotenciales en unidades de microvoltios, el cual son reflejados en el serial monitor del Arduino para la recolección y el análisis de ello.

Los análisis detallados de estas señales son esenciales para poder percibir los patrones neuronales en diferentes etapas de edad. Las ondas cerebrales de distintas frecuencias (theta, alfa, delta, gamma, beta) están relacionadas a estados específicos, es decir, la onda delta está asociada a el sueño profundo, la onda theta con la relajación o meditación, la alfa con la relación mental, la beta con la concentración y la gamma con procesos cognitivos (Understanding Brain Waves, 2023).

Comprender estas señales proporcionan una profundidad en el estudio en cuanto a la actividad cerebral de cada uno de los canes. Además, el análisis de estas señales podría tener aplicaciones prácticas dentro de la medicina veterinaria como prototipos

más ergonómicos y amigables para el sujeto, contribuyendo en el avance de la neurociencia y la medicina veterinaria.

A través del software Processing, el cual es un software compatible con Arduino IDE y el MindFlex, las señales registradas experimentan un proceso de filtrado. El propósito de este filtro es extraer la actividad de cada una de las ondas durante actividades específicas.



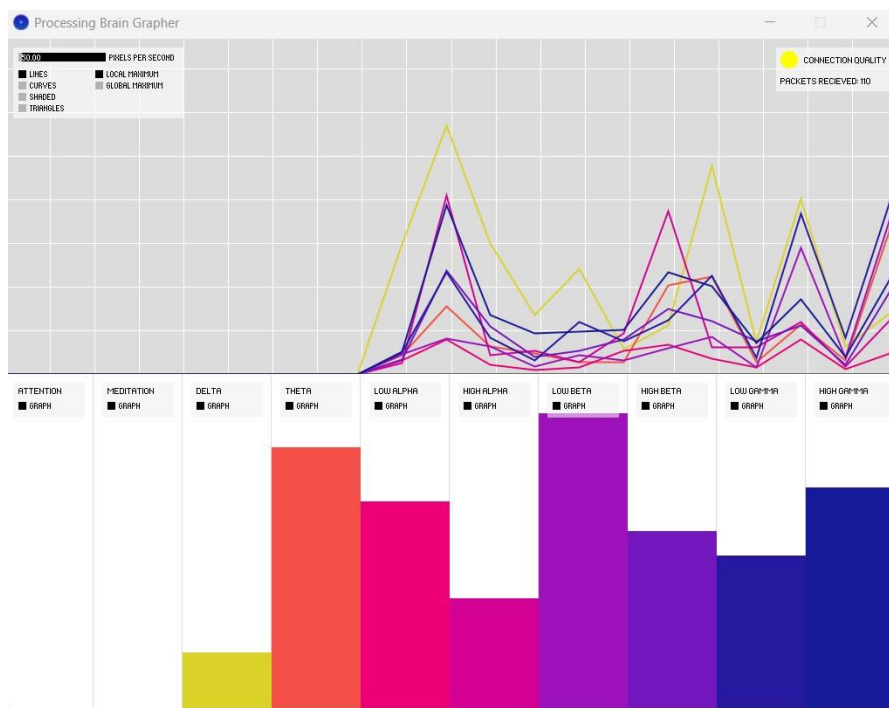
**Ilustración 21. Señales de EEG captadas en el can mayor - Comiendo**

Fuente: Elaboración propia

El análisis realizado por medio de Processing se presenta por medios de barras correspondientes a cada canal (Ilustración 19). Estos canales identificaron las ondas low beta y la High Gamma elevadas durante la actividad de comer.

Tras el análisis se observó que las ondas de meditación y atención en el MindFlex en los canes no la captó, pero si las demás con un enfoque concentración en la onda beta. Además, las ondas reflejaron un estado cambiante durante el intervalo de medición.

Para el can menor en la mayor parte de tiempo durante la registración de señales las barras en el software Processing, se observó secuencia cambiante de estas ondas (Ilustración 22).



**Ilustración 22. Visualización de ondas en el can Menor - Comiendo**

Fuente: Elaboración propia

Se registraron captura de señales por cada uno de los canes en las tres actividades definidas que fueron: comer, caminar, y memorización. Cada una de ellas fue definida debido a que eran actividades en las que los canes se podían sentir más cómodos, y la última actividad que era esencial dentro del estudio para ver la cognición canina ante actividades que los retaban en la memorización.

## 5.7 TRANSFORMADA DE FOURIER EN MATLAB

La Transformada Rápida de Fourier (FFT) fue un algoritmo que se utilizó para transformar datos desde el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia. Esta técnica realiza técnicas en la conversión de magnitudes de las señales eléctricas medidas en microvoltios a su equivalente en Hertz (Hz), obteniendo así un análisis de la distribución espectral de una señal eléctrica.

Una vez que los datos fueron obtenidos por el Chip NeuroSky con ayuda del dispositivo MindFlex, se procedió a transformar los microvoltios de las mediciones a frecuencias en Hz. Dicho procedimiento se llevó a cabo mediante el uso del software MATLAB, lo que facilitaba la conversión de los datos brutos a sus respectivas bandas de frecuencia asociadas con las ondas cerebrales. Las conversiones permitieron la

descomposición de los datos adquiridos, facilitando así un análisis comparativo de los datos obtenidos.

El software de MATLAB, contiene la función para calcular la Transformada Rápida de Fourier, la cual se representa como (fft). Esta función permite la transformación en una señal de entrada, lo que proporcionaba una representación en el dominio de la frecuencia de la señal original, lo cual era fundamental para poder comprender los diferentes componentes espectrales de la señal eléctrica en cuestión (Ilustración 23).

```
% Cargar datos desde el archivo Excel
archivo_excel = 'C:\Users\tecni\OneDrive\Escritorio\PROYECTO DE INVESTIGACIÓN\MULAN COMIENDO.xlsx';
hoja_datos = 'mulan';

% Leer datos desde excel
datos = xlsread(archivo_excel, hoja_datos);

% Aplicar ventana de Hamming a los datos
datos_ventaneados = datos .* hamming(length(datos));

% Procesamiento de datos
datos_ventaneados = datos_ventaneados(:);

% Extraer la frecuencia de muestreo
frecuencia_muestreo = 512;

% Crear vector de tiempo
tiempo = (0:length(datos_ventaneados)-1) / frecuencia_muestreo;
```

#### Ilustración 23. Inicialización código en MATLAB

Fuente: Elaboración propia

En la segunda fase del código, el análisis de datos previamente procesados en el dominio del tiempo y de la frecuencia, se aplicó la Transformada Rápida de Fourier (FFT) a los datos que previamente habían sido sometidos a un proceso de ventaneo. A través de la función «fft ()», se realizó el cálculo de la FFT, dando como resultado el conjunto "fft\_resultado". Las frecuencias correspondientes a cada componente de esta transformada fueron obtenidas y registradas en el vector de frecuencias (Ilustración 24).

```
% Realizar la transformada rápida de Fourier
n = length(datos_ventaneados);
fft_resultado = fft(datos_ventaneados);
frecuencias = (0:n-1)*(frecuencia_muestreo/n);

% Calcular la magnitud de la FFT
magnitud_fft = abs(fft_resultado/n);

% Descartar las frecuencias negativas
frecuencias = frecuencias(1:floor(n/2));
magnitud_fft = magnitud_fft(1:floor(n/2));

% Convertir a Hz
frecuencias_en_hz = frecuencias;
```

#### Ilustración 24. Cálculo de la FFT

Fuente: Elaboración propia

### 5.7.1 SEGMENTACIÓN DE LAS SEÑALES

Se procedió a realizar una segmentación en las señales adquiridas mediante el dispositivo MindFlex, que suministraba señales Beta, Gamma y Alfa etc., junto con su respectiva segmentación. Para llevar a cabo esta parte de segmentación se realizó el siguiente código (Ilustración 25) Durante este proceso, la variable "f", que contenía el espectro de frecuencias, fue utilizada para identificar y obtener los índices asociados con distintas bandas de frecuencia.

```
% Indices para cada banda de frecuencias
indices_delta = find(frecuencias_en_hz >= 1 & frecuencias_en_hz <= 3);
indices_theta = find(frecuencias_en_hz >= 4 & frecuencias_en_hz <= 7);
indices_low_alpha = find(frecuencias_en_hz >= 8 & frecuencias_en_hz <= 9);
indices_high_alpha = find(frecuencias_en_hz >= 10 & frecuencias_en_hz <= 12);
indices_low_beta = find(frecuencias_en_hz >= 13 & frecuencias_en_hz <= 17);
indices_high_beta = find(frecuencias_en_hz >= 18 & frecuencias_en_hz <= 30);
indices_low_gamma = find(frecuencias_en_hz >= 31 & frecuencias_en_hz <= 40);
indices_high_gamma = find(frecuencias_en_hz >= 41 & frecuencias_en_hz <= 50);
```

#### **Ilustración 25. Segmentación de las señales**

Fuente: Elaboración Propia

## **5.8 ANÁLISIS DE RESPUESTAS**

El análisis retrospectivo de las respuestas generadas se centra en la evaluación de la interpretación de las señales obtenidas por el chip NeuroSky. En líneas generales, todas las lecturas del EEG fueron identificadas como estado normal (Buena), ya que proporcionaban información sustancial de la actividad cerebral de los caninos examinados. Sin embargo, se visualizó casos significativos en el can menor.

En el canino menor debido a su estructura pequeña de la cabeza, se encontró una des estabilidad del prototipo en cuanto a la captura de las señales, ya que habían lapsos en el cual se perdía la señal, esto se resolvía ya que se ignoraban y no entraba en los rangos de datos a la hora de convertirlos ya que el MindFlex tiene parámetros que indican que si la señal que está siendo captada es menor que cualquier rango que está definido se presente como 0 y sí, se lee dentro del monitor serial pero no se toman estos datos.

En situaciones donde el prototipo no se le sostenía al canino, es fundamental implementar medidas adicionales, como disminuir el tamaño del MindFlex con sus respectivas bandas para ajustarlo y tratar de centrarlo en la parte de enfrente de la cabeza

para que este fuera capaz de hacer la toma de datos, ya que esto garantiza una señal eficiente (Ilustración 26).

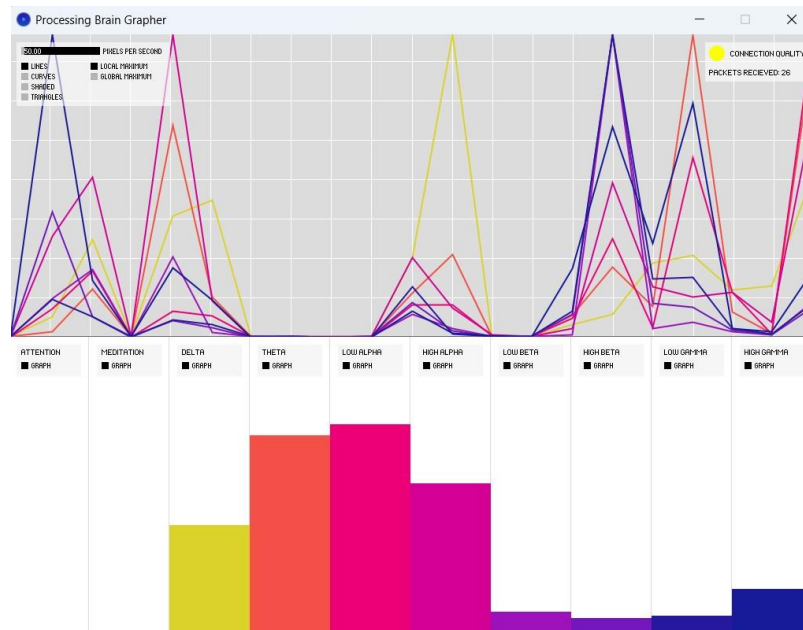


**Ilustración 26. Captura de señales can mayor**

Fuente: Elaboración Propia

El movimiento de los canes mientras realizaba actividades en las cuales se realizaban movimientos bruscos (Ilustración 27) no generó una distorsión en los datos de las imágenes, al parecer el MindFlex cuenta con un filtrado a la hora de captura de señales que lo que hace es que elimina los artefactos (ruido) que podrían interferir a la señal.

Es decir que en estudios clínicos estas interferencias pueden afrontar la necesidad de repetir el procedimiento y puede deberse por muchas razones, entre ellas el movimiento brusco de los canes, la ansiedad al colocar varios electrodos, el miedo etc. No obstante, pueden recurrir a métodos químicos como lo es la anestesia, sin embargo, la anestesia altera las señales eléctricas del cerebro, es decir que no del todo el estudio puede ser de total fiabilidad, aunque se trate de hacer lo mejor posible.



**Ilustración 27. Señales del Can Mayor durante la actividad: Caminar**

Fuente: Elaboración propia

### 5.8.1 ESTADÍSTICAS DE COMPARACIÓN EN LOS CANES

Se llevó a cabo evaluaciones comparativas y análisis estadístico para explorar las respuestas eléctricas del cerebro en los dos canes de la misma raza, diferente edad. En esta fase se busca discernir las posibles variaciones en los patrones de las señales eléctricas del cerebro.

La metodología empleada implicó un enfoque en el procesamiento estadístico de las señales eléctricas obtenidas en los dos canes de la misma raza diferente edad. Se aplicaron técnicas comparativas para permitir identificar tendencias significativas y diferencias estadísticas entre los dos canes.

### 5.8.2 EVALUACIÓN COMPARATIVA

Se implementó un método visual para evaluar la actividad eléctrica del cerebro, durante este proceso de identificación y revisión, se identificaron posibles cambios entre las señales. Estos hallazgos proporcionaron información valiosa sobre la cognición canina objeto de estudio.

Al examinar canes de la misma raza, pero con edades diferentes, se buscaba entender cómo la actividad cerebral evolucionaba a lo largo del tiempo y cómo estos cambios podrían estar relacionados con la cognición. Para realizar esta comparación, se

seleccionaron cuidadosamente dos grupos de canes: uno conformado por un individuo joven, y otro por un individuo más avanzado en edad.

Estos hallazgos proporcionan información valiosa sobre cómo la cognición canina puede variar a lo largo de las diferentes etapas de la vida. Además, la comparación entre canes de la misma raza contribuyó a minimizar las variables genéticas y a centrarse en los posibles cambios debidos a la edad.

Además de analizar las diferencias en la actividad eléctrica cerebral entre canes de la misma raza, diferente edad, se hicieron observaciones detalladas de comportamiento y desempeño en tareas cognitivas específicas. Estos aspectos complementaron la información proporcionada por las mediciones electroencefalográficas, permitiendo una comprensión más integral de la cognición canina.

## **5.9 COMPARATIVAS ENTRE EL CAN MAYOR Y MENOR (MINITAB)**

Al obtener los rangos de frecuencia de ambos canes, se procedió a realizar un análisis estadístico con el propósito de visualizar y analizar diferencias en los rangos de frecuencia. Esta fase se llevó a cabo utilizando el software Minitab, el cual permitió la creación de gráficos y tablas estadísticas para facilitar la comparación entre ambos canes.

Para poder realizar la comparativa entre ambos canes, se optó por utilizar las herramientas de estimación de la diferencia y la estadística significativa. Este enfoque permitió examinar las variaciones de los resultados obtenidos por ambos canes a través del chip NeuroSky. La estimación de la diferencia y la identificación de la estadística significativa son importantes para validar la consistencia y fiabilidad de los resultados.

El análisis de varianza (ANOVA), proporcionó una visión de las estadísticas clave empleadas para evaluar las diferencias significativas entre las bandas de frecuencia de cada can. Las categorías "Factor" y "Error" se distinguieron en la fuente de variación entre las bandas de frecuencia y la variabilidad de cada canino.

Con 7 grados de libertad, la fuente "Factor" permitió la comparación entre las 8 bandas de frecuencia de los caninos bajo estudio. Por otro lado, la fuente "Error" contó

con 62 grados de libertad, que abordaron disparidades internas de cada banda de frecuencia.

La "Suma de cuadrados ajustada (SC Ajust.)", reflejó la variabilidad total ajustada, evidenciando que la fuente "Factor" presentó una suma de cuadrados ajustada de 14,078, enfocada en la variabilidad de las bandas de frecuencias. La fuente "Error" exhibió una suma de cuadrados ajustada de 312.9, capturando la variabilidad de las bandas de frecuencia.

La "Media de cuadrados Ajustada (MC Ajust.)", deriva la división de la suma de cuadrados ajustada por los grados de libertad, reveló que la fuente "Factor" tenía una media de 2011.23, mientras que la fuente "Error", demostró una media de 5.05. Estos valores representaron la variabilidad promedio entre las bandas de frecuencia en el can mayor.

El valor "F", indica la relación de la variabilidad entre y dentro de las bandas, fue de 398.4. En última instancia, el valor "P", que evaluó la probabilidad de obtener un valor F, para evaluar la diferencia entre las bandas de frecuencia, este valor reveló un 0.000, dado que es inferior al número de significancia se rechaza la hipótesis nula de que todas las medidas son iguales. Este análisis de varianza se realizó en el can mayor durante la actividad de comer (Tabla 8).

**Tabla 8. Análisis de Varianza Can Mayor - Comer**

		SC	MC	Valor	Valor
Fuente	GL	Ajust.	Ajust.	F	p
Factor	7	14078.6	2011.23	398.48	0.000
Error	62	312.9	5.05		
Total	69	14391.6			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 9 del estudio científico proporcionó una síntesis detallada de las medias y desviaciones estándar que están relacionadas entre las bandas de frecuencias para un análisis eficiente. Cada una de las bandas de frecuencia se encuentra dentro de la columna factor para poder realizar la media y la desviación estándar de cada una de ellas y tener un análisis detallado para realizar las respectivas comparativas.

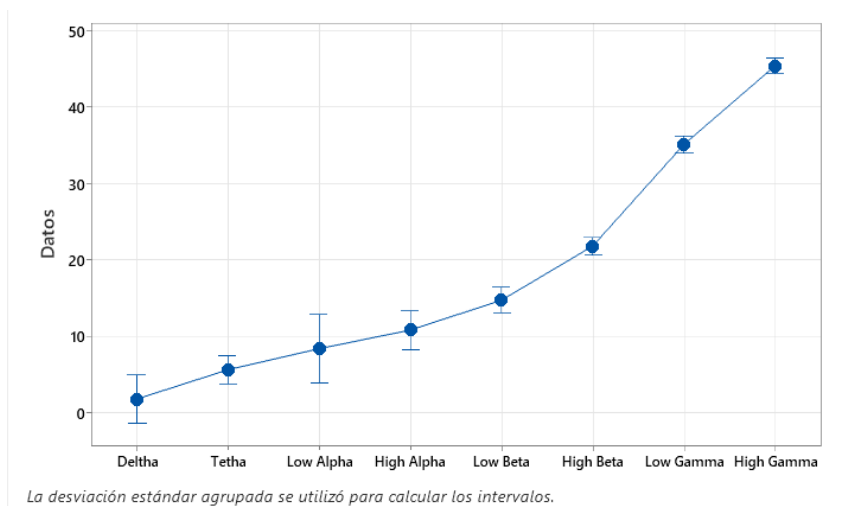
**Tabla 9. Medias del Can mayor – Comer**

<b>Factor</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Desv.Est.</b>	<b>IC de 95%</b>
Delta	2	1.705	0.346	(-1.471; 4.881)
Theta	6	5.540	0.813	(3.707; 7.373)
Low Alpha	1	8.300	*	(3.809; 12.791)
High Alpha	3	10.740	0.490	(8.147; 13.333)
Low Beta	7	14.651	1.056	(12.954; 16.349)
High Beta	16	21.738	2.327	(20.615; 22.860)
Low Gamma	16	35.048	2.396	(33.925; 36.171)
High Gamma	19	45.349	2.739	(44.319; 46.380)

*Desv.Est. agrupada = 2.24662*

Fuente: Elaboración propia

Las bandas de frecuencia en los canes fueron consideradas un indicador clave, para poder analizar cómo reaccionan ante diferentes actividades cotidianas. Dentro de la primera actividad realizada que fue comer, se destacaron cambios en cuanto a los rangos de frecuencia en el can mayor (Ilustración 28). Durante este comportamiento es importante resaltar que la anticipación del canino antes de recibir la comida, se observa un aumento en la onda beta, ya que el canino está en alerta y concentrado en recibir la alimentación. Recordando que la onda beta se asocia con la alerta, la concentración y la actividad mental actividad y va de un rango de (12 – 30 Hz).



**Ilustración 28. Gráfica de intervalos del can mayor durante la actividad – Comer**

Fuente: Elaboración propia

Para el canino menor durante la actividad de comer se realizó de igual manera un análisis de varianza (Tabla 10).

Con 7 grados de libertad, la fuente "Factor" permitió la comparación entre las 8 bandas de frecuencia de los caninos bajo estudio. Por otro lado, la fuente "Error" contó con 60 grados de libertad, que abordaron disparidades internas de cada banda de frecuencia.

La "Suma de cuadrados ajustada (SC Ajust.)", reflejó la variabilidad total ajustada, evidenciando que la fuente "Factor" presentó una suma de cuadrados ajustada de 11,916.0, enfocada en la variabilidad de las bandas de frecuencias. La fuente "Error" exhibió una suma de cuadrados ajustada de 290.3, capturando la variabilidad de las bandas de frecuencia.

La "Media de cuadrados Ajustada (MC Ajust.)", deriva la división de la suma de cuadrados ajustada por los grados de libertad, reveló que la fuente "Factor" tenía una media de 1702.29, mientras que la fuente "Error", demostró una media de 4.84. Estos valores representaron la variabilidad promedio entre las bandas de frecuencia en el can mayor.

El valor "F" fue de 398.4. En última instancia, el valor "P", que evaluó la probabilidad de obtener un valor F, para evaluar la diferencia entre las bandas de frecuencia, este valor reveló un 0.000, dado que es inferior al número de significancia se rechaza la hipótesis nula de que todas las medidas son iguales. Este análisis de varianza se realizó en el can mayor durante la actividad de comer.

**Tabla 10. Análisis de Varianza Can menor - Comer**

		SC	MC	Valor	Valor
Fuente	GL	Ajust.	Ajust.	F	p
Factor	7	11916.0	1702.29	351.89	0.000
Error	60	290.3	4.84		
Total	67	12206.3			

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 11 del estudio científico, proporcionó una síntesis detallada de las medias y desviaciones estándar. Cada una de las bandas de frecuencia se encuentra

dentro de la columna factor para poder realizar la media y la desviación estándar de cada una de ellas y tener un análisis detallado para realizar las respectivas comparativas.

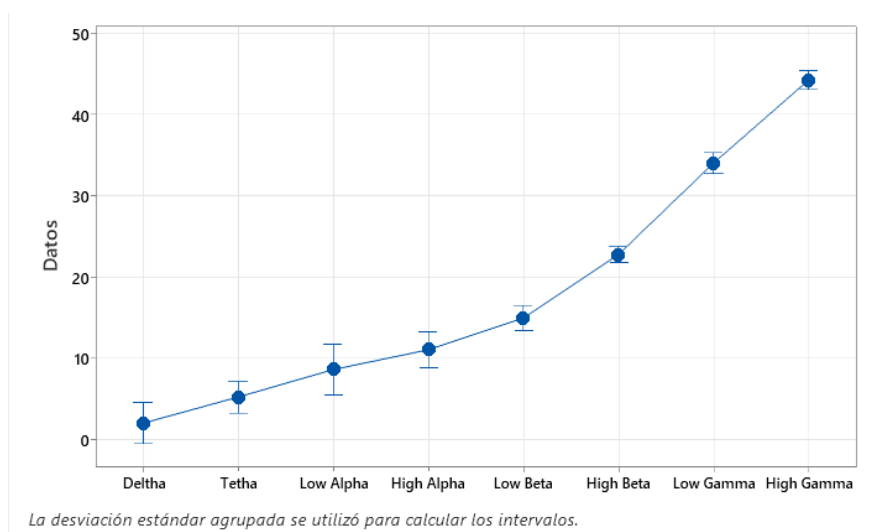
**Tabla 11. Medias del Can Menor – Comer**

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Delta	3	1.950	0.490	(-0.590; 4.490)
Theta	5	5.170	0.745	(3.202; 7.138)
Low Alpha	2	8.545	0.346	(5.434; 11.656)
High Alpha	4	10.985	0.633	(8.785; 13.185)
Low Beta	8	14.897	1.199	(13.342; 16.453)
High Beta	20	22.700	3.131	(21.716; 23.684)
Low Gamma	12	33.949	1.762	(32.679; 35.219)
High Gamma	14	44.173	2.071	(42.997; 45.349)

*Desv.Est. agrupada = 2.19944*

Fuente: Elaboración Propia

En la (Ilustración 29), dentro de la gráfica de intervalos se observó que era un poco mayor la del canino menor, hay muchos factores en los cuales se puede dar una conclusión del porque era más excitada en el canino menor que el mayor, en el mejor de los escenarios se podría deber a que el canino menor está en su etapa de desarrollo es por ello que puede parecer que este más alerta a cualquier actividad cotidiana.



**Ilustración 29. Gráfica de Intervalos del can menor - comer**

Fuente: Elaboración propia

El nerviosismo también interpretado en los caninos especialmente en el canino menor, durante la toma de muestra puede generar respuestas que alteren las ondas mostrando una más alerta que la otra. Para una comprensión más completa de las razones detrás de las variaciones, una evaluación médica con un veterinario podría dar más detalles en cuanto a si afecta o no estos factores externos.



**Ilustración 30. Prueba de Toma de señales Canino Menor**

Fuente: Elaboración propia

Dentro de la segunda actividad que fue determinada como caminata, en donde el can salía a dar un paseo y la toma de datos era de 2 minutos, los cuales solo se tomaron en cuenta 60 segundos, ya que en los dos minutos se encontró visualmente un patrón en los rangos de frecuencias observados en el software Processing. Para la segunda actividad también se realizó un análisis de varianza (ANOVA).

Con 7 grados de libertad, la fuente "Factor" permitió la comparación entre las 8 bandas de frecuencia de los caninos bajo estudio. Por otro lado, la fuente "Error" contó con 50 grados de libertad, que abordaron disparidades internas de cada banda de frecuencia.

La "Suma de cuadrados ajustada (SC Ajust.)", reflejó la variabilidad total ajustada, evidenciando que la fuente "Factor" presentó una suma de cuadrados ajustada de 11,882.6, enfocada en la variabilidad de las bandas de frecuencias. La fuente "Error" exhibió una suma de cuadrados ajustada de 274.0, capturando la variabilidad de las bandas de frecuencia.

La "Media de cuadrados Ajustada (MC Ajust.)", deriva la división de la suma de cuadrados ajustada por los grados de libertad, reveló que la fuente "Factor" tenía una media de 1697.51, mientras que la fuente "Error", demostró una media de 5.48. Estos valores representaron la variabilidad promedio entre las bandas de frecuencia en el can mayor.

El valor "F", indica la relación de la variabilidad entre y dentro de las bandas, fue de 309.82. En última instancia, el valor "P", que evaluó la probabilidad de obtener un valor F, para evaluar la diferencia entre las bandas de frecuencia, este valor reveló un 0.000, dado que es inferior al número de significancia se rechaza la hipótesis nula de que todas las medidas son iguales. Este análisis de varianza se realizó en el can mayor durante la actividad de "Caminata" (Tabla 12).

**Tabla 12. Análisis de Varianza can mayor - caminata**

		SC	MC	Valor	Valor
Fuente	GL	Ajust.	Ajust.	F	p
Factor	7	11882.6	1697.51	309.82	0.000
Error	50	274.0	5.48		
Total	57	12156.5			

Fuente: Elaboración Propia

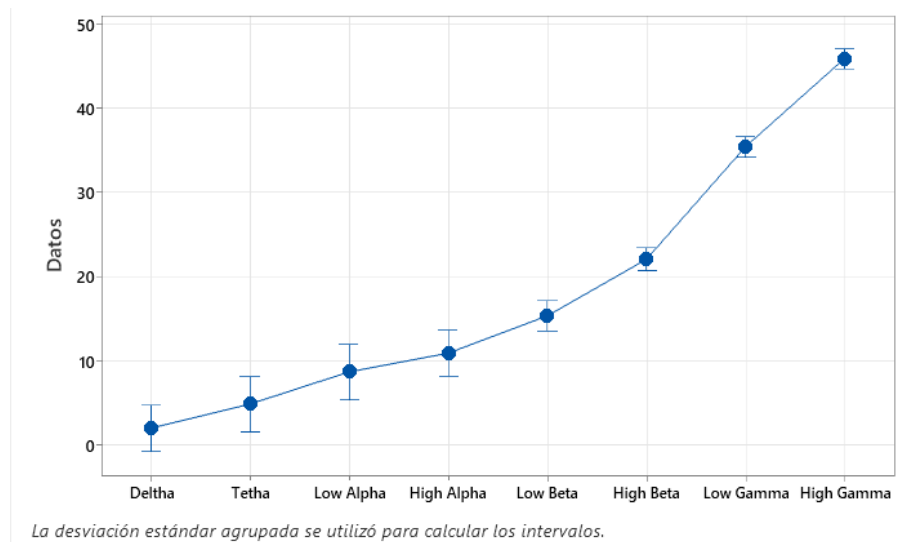
En la tabla 13 se proporcionó una síntesis detallada de las medias y desviación estándar. Cada una de las bandas de frecuencia se encuentra dentro de la columna factor para poder realizar la media y la desviación estándar de cada una de ellas y tener un análisis detallado para realizar las respectivas comparativas.

**Tabla 13. Media del can mayor - caminata**

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Delta	3	1.910	0.640	(-0.804; 4.624)
Theta	2	4.780	0.453	(1.456; 8.104)
Low Alpha	2	8.600	0.453	(5.276; 11.924)
High Alpha	3	10.833	0.635	(8.119; 13.548)
Low Beta	7	15.267	1.332	(13.490; 17.044)
High Beta	12	21.992	2.298	(20.635; 23.350)
Low Gamma	14	35.383	2.667	(34.126; 36.639)
High Gamma	15	45.879	2.812	(44.665; 47.093)

Fuente: Elaboración Propia

Dentro de la gráfica de intervalos (Ilustración 31) se observó que, durante la caminata, las bandas de frecuencia como delta, theta, Alpha eran muy bajas ya que estas están relacionadas más a la relajación y sueño ligero o profundo. Sin embargo, las ondas Beta tanto low como High tuvieron mayor actividad cerebral incluso ambas ondas de Gamma también se encontraron excitadas en el can mayor.



**Ilustración 31. Gráfica de Intervalos del can mayor - caminata**

Fuente: Elaboración Propia

Para el can menor durante la actividad de caminata, una vez con la recolección de datos se procedió a realizar de igual manera un análisis de varianza para su detallada comparativa visual entre las bandas de frecuencia durante la actividad que se llevó a cabo.

Con 7 grados de libertad, la fuente "Factor" permitió la comparación entre las 8 bandas de frecuencia de los caninos bajo estudio. Por otro lado, la fuente "Error" contó con 44 grados de libertad, que abordaron disparidades internas de cada banda de frecuencia.

La "Suma de cuadrados ajustada (SC Ajust.)", reflejó la variabilidad total ajustada, evidenciando que la fuente "Factor" presentó una suma de cuadrados ajustada de 5812.8, enfocada en la variabilidad de las bandas de frecuencias. La fuente "Error" exhibió una suma de cuadrados ajustada de 620.6, capturando la variabilidad de las bandas de frecuencia.

La "Media de cuadrados Ajustada (MC Ajust.)", deriva la división de la suma de cuadrados ajustada por los grados de libertad, reveló que la fuente "Factor" tenía una media de 830.40, mientras que la fuente "Error", demostró una media de 14.11. Estos valores representaron la variabilidad promedio entre las bandas de frecuencia en el can mayor.

El valor "F", indica la relación de la variabilidad entre y dentro de las bandas, fue de 58.07. En última instancia, el valor "P", que evaluó la probabilidad de obtener un valor F, para evaluar la diferencia entre las bandas de frecuencia, este valor reveló un 0.000, dado que es inferior al número de significancia se rechaza la hipótesis nula de que todas las medidas son iguales. Este análisis de varianza se realizó en el can menor durante la actividad de "Caminata" (Tabla 14).

**Tabla 14. Análisis de varianza can menor - caminata**

		SC	MC	Valor	Valor
Fuente	GL	Ajust.	Ajust.	F	p
Factor	7	5812.8	830.40	58.87	0.000
Error	44	620.6	14.11		
Total	51	6433.5			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 15 se proporcionó una síntesis detallada de las medias y desviación estándar. Cada una de las bandas de frecuencia se encuentra dentro de la columna factor para poder realizar la media y la desviación estándar de cada una de ellas y tener un análisis detallado para realizar las respectivas comparativas.

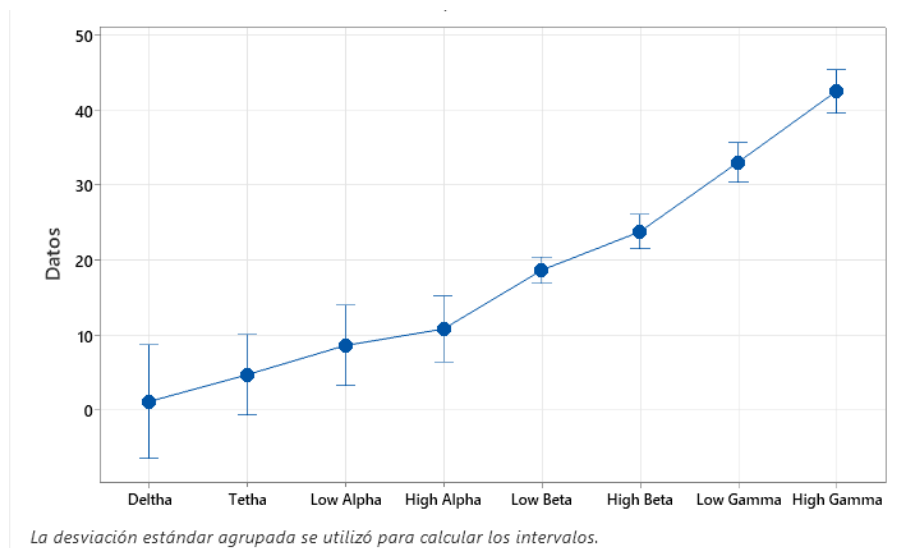
**Tabla 15. Media del can menor - caminata**

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Delta	1	1.050	*	(-6.519; 8.619)
Theta	2	4.635	0.346	(-0.717; 9.987)
Low Alpha	2	8.545	0.346	(3.193; 13.897)
High Alpha	3	10.740	0.490	(6.370; 15.110)
Low Beta	18	18.58	4.74	(16.79; 20.36)
High Beta	11	23.71	4.71	(21.42; 25.99)
Low Gamma	8	32.971	1.196	(30.295; 35.647)
High Gamma	7	42.427	1.034	(39.566; 45.288)

*Desv.Est. agrupada = 3.75568*

Fuente: Elaboración propia

Dentro de la gráfica de intervalos (Ilustración 32) se observó que, durante la caminata, las bandas de frecuencia como delta, theta, Alpha eran muy bajas. Sin embargo, las ondas Beta tanto low como High tuvieron mayor actividad cerebral incluso reflejándose así visualmente una mayor actividad que la del can mayor, ya que el can menor se mantenía siempre en alerta a su alrededor durante la caminata.



**Ilustración 32. Gráfico de intervalos del can menor – caminata**

Fuente: Elaboración propia

Para la tercera y última actividad en los canes en cuanto a la toma de muestra de datos con el dispositivo MindFlex a través de la ayuda del chip NeuroSky y módulo Bluetooth para su envío de señales inalámbricamente, se determinó la actividad de memorización en la cual consistía en que ellos vieran esconder la pelota dentro de un cesto, al pedirles que buscaran la pelota cada can actuó de manera diferente.

Una vez recolectados los datos de esta actividad se procedió a realizar el análisis de varianza para el canino mayor en la actividad de memorización.

Con 7 grados de libertad, la fuente "Factor" permitió la comparación entre las 8 bandas de frecuencia de los caninos bajo estudio. Por otro lado, la fuente "Error" contó con 73 grados de libertad, que abordaron disparidades internas de cada banda de frecuencia.

La "Suma de cuadrados ajustada (SC Ajust.)", reflejó la variabilidad total ajustada, evidenciando que la fuente "Factor" presentó una suma de cuadrados ajustada de

12690.3, enfocada en la variabilidad de las bandas de frecuencias. La fuente "Error" exhibió una suma de cuadrados ajustada de 670.1, capturando la variabilidad de las bandas de frecuencia.

La "Media de cuadrados Ajustada (MC Ajust.)", deriva la división de la suma de cuadrados ajustada por los grados de libertad, reveló que la fuente "Factor" tenía una media de 1812.90, mientras que la fuente "Error", demostró una media de 9.18. Estos valores representaron la variabilidad promedio entre las bandas de frecuencia en el can mayor.

El valor "F", indica la relación de la variabilidad entre y dentro de las bandas, fue de 58.07. En última instancia, el valor "P", que evaluó la probabilidad de obtener un valor F, para evaluar la diferencia entre las bandas de frecuencia, este valor reveló un 0.000, dado que es inferior al número de significancia se rechaza la hipótesis nula de que todas las medidas son iguales. Este análisis de varianza se realizó en el can mayor durante la actividad de "Memorización" (Tabla 16).

**Tabla 16. Análisis de varianza can mayor – memorización**

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Factor	7	12690.3	1812.90	197.50	0.000
Error	73	670.1	9.18		
Total	80	13360.4			

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 17 se proporcionó una síntesis detallada de las medias y desviación estándar. Cada una de las bandas de frecuencia se encuentra dentro de la columna factor para poder realizar la media y la desviación estándar de cada una de ellas y tener un análisis detallado para realizar las respectivas comparativas.

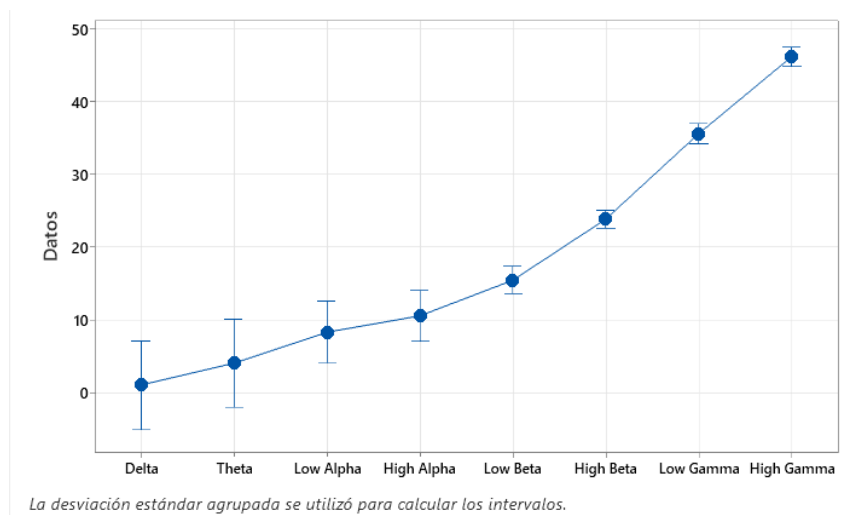
**Tabla 17. Media del can mayor – memorización**

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Delta	1	1.000	*	(-5.038; 7.038)
Theta	1	4.000	*	(-2.038; 10.038)
Low Alpha	2	8.250	0.354	(3.980; 12.520)
High Alpha	3	10.503	0.505	(7.017; 13.990)
Low Beta	10	15.393	1.717	(13.484; 17.302)
High Beta	24	23.788	3.574	(22.555; 25.020)
Low Gamma	19	35.528	2.811	(34.143; 36.914)
High Gamma	21	46.106	3.217	(44.788; 47.423)

*Desv.Est. agrupada = 3.02973*

Fuente: Elaboración propia

Dentro de la gráfica de intervalos (Ilustración 33) se observó que, durante la actividad de memorización el can mayor no tuvo dificultad de poder encontrar la pelota y traerla de nuevo, las bandas de frecuencia como low y high beta, low y high gamma, fueron las que mayor actividad cerebral presentaron dado que estas están relacionadas a la actividad mental, y la cognición de aprendizaje, memoria y resolución de problemas.



**Ilustración 33. Gráfico de intervalos can mayor – memorización**

Fuente: Elaboración Propia

Para el can menor durante la actividad de memorización, una vez con la recolección de datos se procedió a realizar de igual manera un análisis de varianza para su detallada comparativa visual entre las bandas de frecuencia durante la actividad que

se llevó a cabo, cabe resaltar que visualmente se observó una diferencia en la manera que el can menor intento buscar la pelota, ya que tuvo problemas y si no era con ayudaba no la encontraba, hubieron visualizaciones muy bajas de las ondas Low y high Gamma.

Con 7 grados de libertad, la fuente "Factor" permitió la comparación entre las 8 bandas de frecuencia de los caninos bajo estudio. Por otro lado, la fuente "Error" contó con 48 grados de libertad, que abordaron disparidades internas de cada banda de frecuencia.

La "Suma de cuadrados ajustada (SC Ajust.)", reflejó la variabilidad total ajustada, evidenciando que la fuente "Factor" presentó una suma de cuadrados ajustada de 7107.4, enfocada en la variabilidad de las bandas de frecuencias. La fuente "Error" exhibió una suma de cuadrados ajustada de 250.1, capturando la variabilidad de las bandas de frecuencia.

La "Media de cuadrados Ajustada (MC Ajust.)", deriva la división de la suma de cuadrados ajustada por los grados de libertad, reveló que la fuente "Factor" tenía una media de 1015.34, mientras que la fuente "Error", demostró una media de 5.21. Estos valores representaron la variabilidad promedio entre las bandas de frecuencia en el can mayor.

El valor "F", indica la relación de la variabilidad entre y dentro de las bandas, fue de 194.85. En última instancia, el valor "P", que evaluó la probabilidad de obtener un valor F, para evaluar la diferencia entre las bandas de frecuencia, este valor reveló un 0.000, dado que es inferior al número de significancia se rechaza la hipótesis nula de que todas las medidas son iguales. Este análisis de varianza se realizó en el can menor durante la actividad de "Memorización" (Tabla 18).

**Tabla 18. Análisis de varianza can menor – memorización**

		SC	MC	Valor	Valor
Fuente	GL	Ajust.	Ajust.	F	p
Factor	7	7107.4	1015.34	194.85	0.000
Error	48	250.1	5.21		
Total	55	7357.5			

Fuente: Elaboración propia

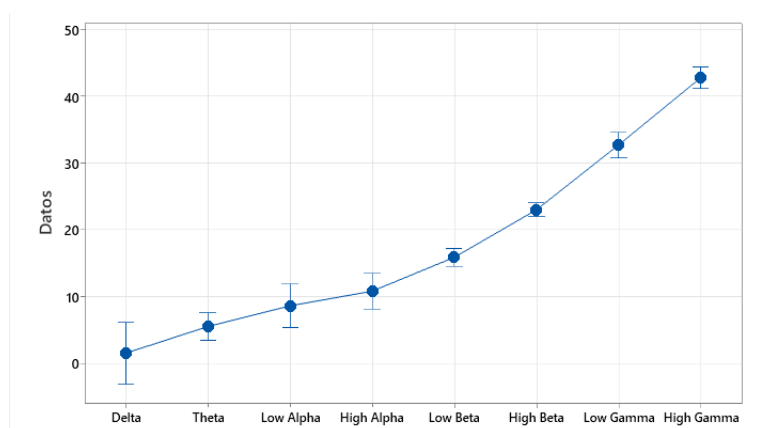
En la tabla 19 se proporcionó una síntesis detallada de las medias y desviación estándar. Cada una de las bandas de frecuencia se encuentra dentro de la columna factor para poder realizar la media y la desviación estándar de cada una de ellas y tener un análisis detallado para realizar las respectivas comparativas.

**Tabla 19. Media del can menor – memorización**

<b>Factor</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Desv.Est.</b>	<b>IC de 95%</b>
Delta	1	1.460	*	(-3.130; 6.050)
Theta	5	5.450	0.932	(3.397; 7.503)
Low Alpha	2	8.545	0.346	(5.300; 11.790)
High Alpha	3	10.740	0.490	(8.090; 13.390)
Low Beta	12	15.808	1.660	(14.483; 17.133)
High Beta	19	22.920	3.324	(21.867; 23.973)
Low Gamma	6	32.625	1.170	(30.751; 34.499)
High Gamma	8	42.680	1.195	(41.057; 44.303)

Fuente: Elaboración propia

Dentro de la gráfica de intervalos (Ilustración 34) se observó que, durante la actividad de memorización el can menor tuvo dificultad de poder encontrar la pelota y traerla de nuevo, las bandas de frecuencia como low y high beta, low y high gamma, fueron las que se encontraron un rango muy bajo en comparación con el can adulto.



**Ilustración 34. Gráfico de intervalos can menor en la actividad de memorización**

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se pudo observar de manera estadística el comportamiento de todas las ondas cerebrales durante las actividades que se determinaron para poder realizar un análisis en cada una de ellas.

#### 5.9.1 ESTADÍSTICAS EN MINITAB (ONDAS PREDOMINANTES EN CADA ACTIVIDAD)

El método primordial que se utilizó en cada uno de los sujetos evaluados fue "estadística Diferencial" la cual funciona como un analizador de datos para recibir las características de un conjunto de datos. Se destaca que se utilizó de igual manera la "t de 2 muestras" que se utiliza para comparar las medias de los dos canes de datos diferentes para determinar si existen diferencias significativas.

En la primera actividad, que consistió en alimentar a los dos caninos durante un minuto, se garantizó una correcta colocación del dispositivo MindFlex en ambos sujetos, siguiendo la orientación proporcionada en la Sección 5.4.2 y verificada a través de la imagen correspondiente. Después de ejecutar la actividad y recopilar datos precisos mediante el código de Matlab, se procedió a realizar un análisis estadístico en Minitab con el objetivo de obtener estadísticas diferenciales para cada canino en cada una de las actividades en donde se encontraban ciertas ondas que predominaban.

Este análisis permitió evaluar de manera estadística las respuestas de cada can en el contexto de la actividad alimentaria. La comparativa de los datos recolectados proporcionó información valiosa sobre posibles disparidades en el comportamiento de los caninos durante el periodo de alimentación.

La utilización de Minitab como herramienta de análisis estadístico posibilitó la identificación de patrones, tendencias o diferencias significativas entre los canes, contribuyendo así a una evaluación objetiva y rigurosa de los resultados obtenidos

Las estadísticas derivadas en cuanto a la estimación de diferencia (Tabla 20). La prueba "t" realizada indica que existe una diferencia significativa entre las medias de las dos muestras, y esta diferencia no se encuentra en su totalidad cero. La magnitud promedio de la diferencia entre las medias es de 0.963, con un intervalo de confianza que abarca desde -0.889 hasta 2.814.

**Tabla 20. Estimación de diferencia (Actividad comer)**

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
0.963	(-0.889; 2.814)

Fuente: Elaboración propia

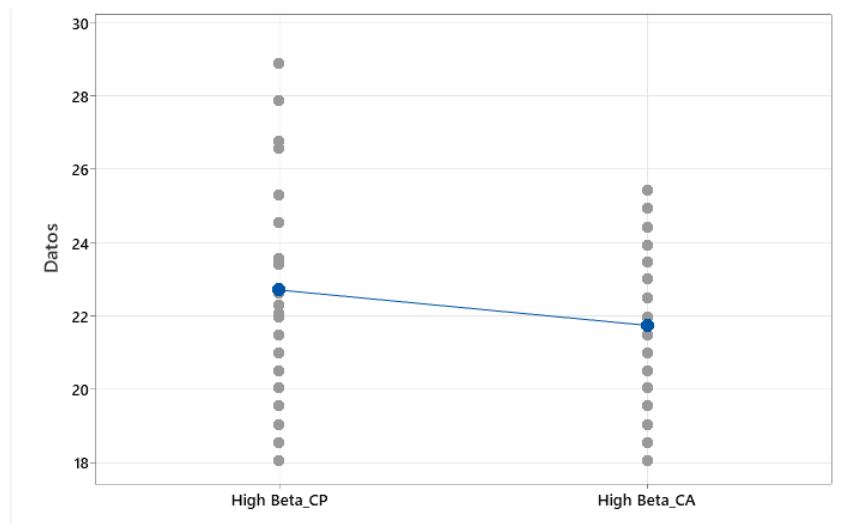
El valor "p" de los resultados fue específico, fue de 0,298 (Tabla 21). Dado que este valor fue superior al de significancia establecido de 0.05, lo que indicó que no hay evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula, pero que visualmente se observó un cambio en las señales.

**Tabla 21. Resultados de pruebas en aplicación de T de 2 Muestras - comer**

Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$	
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$	
Valor T	GL	Valor p
1.06	33	0.298

Fuente: Elaboración propia

Así mismo el análisis gráfico de los valores individuales (Ilustración 35), se presentó la distribución de los datos obtenidos de ambos canes durante la actividad alimentaria, durante los 60 segundos de la toma de datos. En términos generales, se observó una tendencia donde los valores que fueron registrados en el can menor mostraron una inclinación a ser mayor que a la del can mayor.



**Ilustración 35. Gráfico de valores individuales High beta CA/CP – Comer**

Fuente: Elaboración propia

Para la actividad de "Comer", durante esta toma de datos también se encontró visualmente una diferencia entre la onda Low Beta de ambos canes, se hace una destacada observación entre estas ondas porque al momento de que los caninos comen, ellos tienen una actividad cerebral en ambas betas tanto en High como en Low. Los datos obtenidos revelaron que hubo una mayor excitación en el can menor, para poder analizar de manera eficiente este dato y ver si había una significancia entre ambos canes, se realizó lo antes mencionado.

La magnitud promedio de la diferencia entre las medias es de -0.246, con un intervalo de confianza que abarca desde -1.507 hasta 1.023.

**Tabla 22. Estimación de diferencia (Actividad comer)**

<b>Diferencia</b>	<b>IC de 95% para la diferencia</b>
-0.246	(-1.514; 1.023)

Fuente: Elaboración Propia

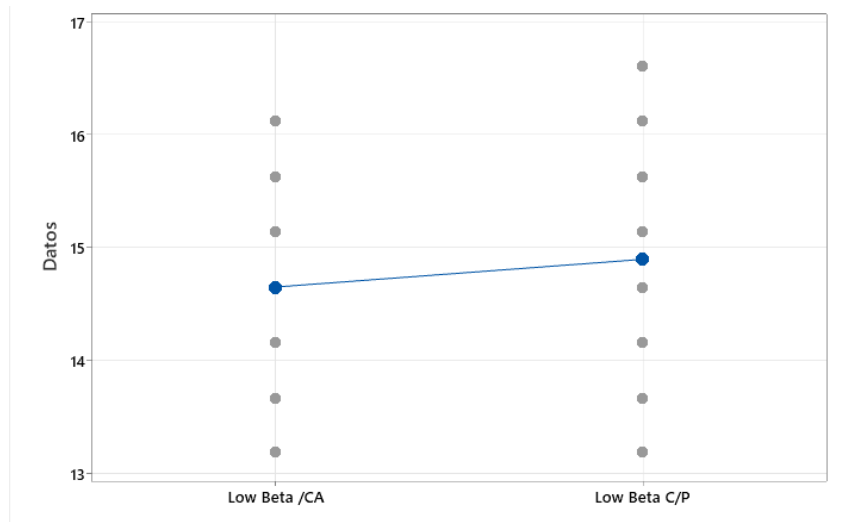
El valor "p" de los resultados fue específico, fue de 0.680 (Tabla 21). Dado que este valor fue superior al de significancia establecido de 0.05, lo que indicó que no hay evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula, pero que visualmente se observó un cambio en las señales.

**Tabla 23. Resultados de pruebas en aplicación de T de 2 Muestras - comer**

Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$	
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$	
<b>Valor T</b>	<b>GL</b>	<b>Valor p</b>
-0.42	12	0.680

Fuente: Elaboración Propia

Así mismo el análisis gráfico de los valores individuales (Ilustración 36), se presentó la distribución de los datos obtenidos de ambos canes durante la actividad alimentaria, durante los 60 segundos de la toma de datos. En términos generales, se observó una tendencia donde los valores que fueron registrados en el can menor mostraron una inclinación a ser mayor.



**Ilustración 36. Gráfico de valores individuales Low beta CA/CP – Comer**

Fuente: Elaboración propia

Para la actividad numeró dos que fue establecida como: caminata, durante la muestra de datos, se notó muy elevado visualmente que el canino menor parecía estar alerta en cada momento, en cambio el can mayor tomó la caminata como algo tranquilo, se le notaba más sereno que el can menor.

Para poder analizar de manera eficiente este dato y ver si había una significancia entre ambos canes, se realizó lo anterior del can mayor.

Las estadísticas derivadas en cuanto a la estimación de diferencia (Tabla 24). La prueba "t" realizada indica que existe una diferencia significativa entre las medias de las dos muestras, y esta diferencia no se encuentra en su totalidad cero. La magnitud promedio de la diferencia entre las medias es de 3.35, con un intervalo de confianza que abarca desde 0.07 hasta 6.63.

**Tabla 24. Estimación de diferencia (Actividad caminata)**

<b>Diferencia</b>	<b>IC de 95% para la diferencia</b>
3.35	(0.07; 6.63)

Fuente: Elaboración propia

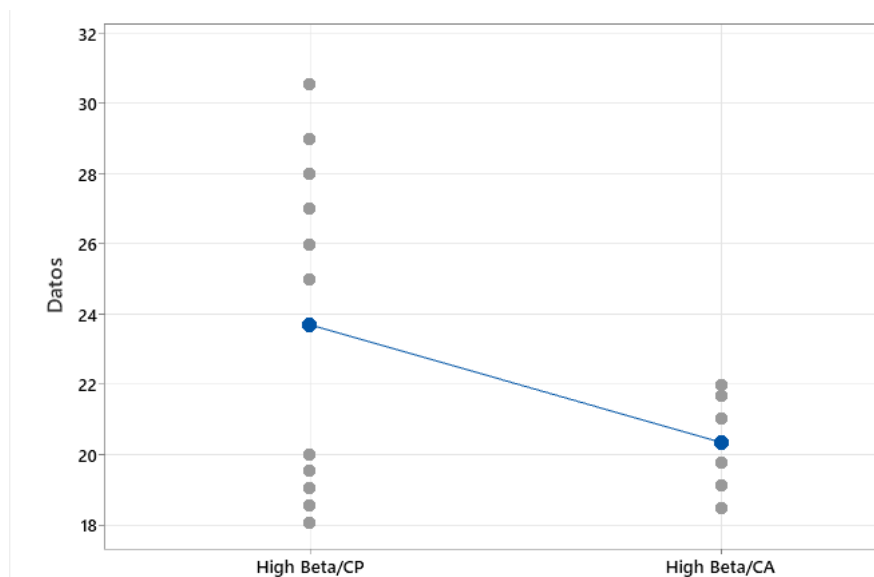
El valor "p" de los resultados fue específico, fue de 0.046 (Tabla 25). Dado que este valor fue inferior al de significancia establecido de 0.05, lo que indicó que se rechaza la hipótesis nula de que todas las medidas son iguales. Este análisis de varianza se realizó durante la actividad de "Caminata" se observa tanto visual como estadísticamente un cambio en las señales, arrojando una mayor actividad cerebral en la onda High beta del can menor.

**Tabla 25. Resultados de pruebas en aplicación de T de 2 Muestras - caminata**

Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$	
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$	
<b>Valor T</b>	<b>GL</b>	<b>Valor p</b>
2.23	12	0.046

Fuente: Elaboración propia

Así mismo el análisis gráfico de los valores individuales (Ilustración 37), se presentó la distribución de los datos obtenidos de ambos canes durante la actividad caminata, durante los 120 segundos de la toma de datos. En términos generales, se observó una tendencia donde los valores que fueron registrados en el can menor mostraron una inclinación a ser mayor.



**Ilustración 37. Gráfico de valores individuales High Beta en CP/CA – caminata**

Fuente: Elaboración propia

Para la última actividad de "Memorización" en donde fue una de las actividades claves para poder determinar qué tan desarrollada era la cognición canina en ambos, se observó una fuerte resolución de problemas por parte del canino mayor, en cambio el

canino menor tuvo una dificultad en poder analizar donde se encontraba la pelota y luego regresarla, ocupó ayuda para poder llegar al punto de realizar esta actividad.

Las estadísticas derivadas en cuanto a la estimación de diferencia (Tabla 26). La prueba "t" realizada indica que existe una diferencia significativa entre las medias de las dos muestras, y esta diferencia no se encuentra en su totalidad cero. La magnitud promedio de la diferencia entre las medias es de -3.426, con un intervalo de confianza que abarca desde -5.110 hasta -1.742.

**Tabla 26. Estimación de diferencia (Actividad memorización)**

<b>Diferencia</b>	<b>IC de 95% para la diferencia</b>
-3.42	(-5.110; -1.742)

Fuente: Elaboración propia

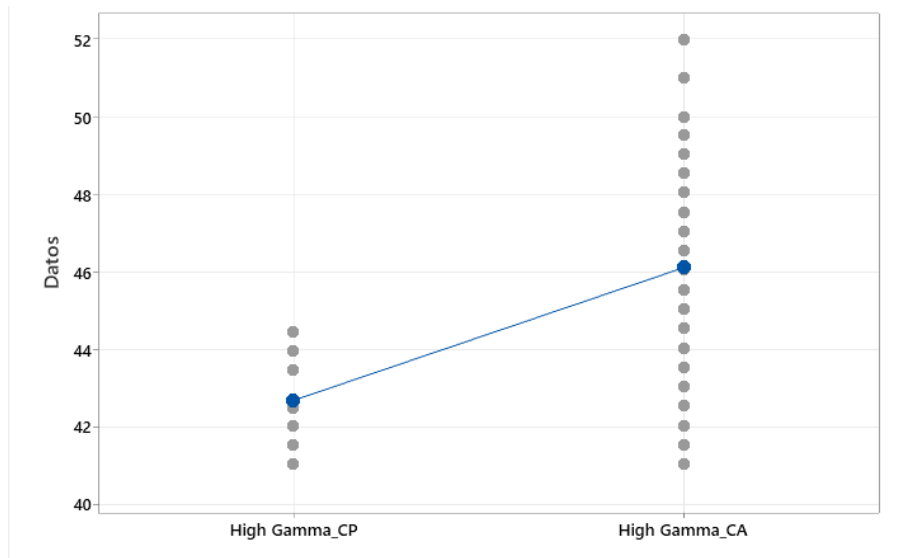
El valor "p" de los resultados fue específico, fue de 0.000 (Tabla 27). Dado que este valor fue inferior al de significancia establecido de 0.05, lo que indicó que se rechaza la hipótesis nula de que todas las medidas son iguales. Este análisis de varianza se realizó durante la actividad de "memorización" se observa tanto visual como estadísticamente un cambio en las señales, arrojando una mayor actividad cerebral en la onda High Gamma del can mayor.

**Tabla 27. Resultados de pruebas en aplicación de T de 2 Muestras - memorización**

Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$	
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$	
<b>Valor T</b>	<b>GL</b>	<b>Valor p</b>
-4.18	26	0.000

Fuente: Elaboración propia

Así mismo el análisis gráfico de los valores individuales (Ilustración 38), se presentó la distribución de los datos obtenidos de ambos canes durante la actividad memorización, durante los 120 segundos de la toma de datos. En términos generales, se observó una tendencia donde los valores que fueron registrados, en el can menor mostraron una menor inclinación en esta actividad para la cognición canina, mientras que para el can mayor la tendencia fue mayor representando un nivel alto de cognición.



**Ilustración 38. Gráfico de valores individuales High Gamma en CP/CA – Memorización**

Fuente: Elaboración Propia

### 5.9.2 RENDIMIENTO DEL SISTEMA

El sistema exhibió su eficacia y eficiencia en la toma de las señales, a través del chip NeuroSky y los componentes anexados para poder ofrecer una señal de manera inalámbrica, donde los caninos fueron sometidos a una serie de actividades para visualizar las señales electroencefalográficas de manera cómoda y eficiente. A pesar de los desafíos en cuanto a la estructura de la cabeza del can pequeño, se implementaron estrategias para mitigar estos factores y garantizar la captura precisa de las señales.

Se llevó a cabo evaluaciones comparativas para validar la consistencia y confiabilidad del sistema en diferentes actividades.

### 5.9.3 ÁREAS DE MEJORA

Luego de explorar la empleabilidad del chip NeuroSky junto al dispositivo de entretenimiento MindFlex, se logró identificar que el tamaño del dispositivo MindFlex para el can menor era demasiado grande, porque lo se tuvo que ajustar demasiado, impidiendo así que el sensor se mantuviera por mucho tiempo en la parte de enfrente de la cabeza del canino. Se sugiere llevar a cabo un diseño más más profundo para la adaptabilidad completo del prototipo en diferentes canes sin importar el tamaño.

Se logró destacar de igual manera, el uso de otro módulo o bien una Raspberry Pi, para un mayor alcance durante los canes realicen las actividades debido a que el rango de transmisión para las señales del módulo bluetooth es limitado a 10 metros.

Además, se aconseja incrementar la prueba en más participantes siguiendo el patrón para evaluar si hay cambios significativos o patrones secuenciales en cada uno de ellos, comprobando de igual manera la fiabilidad de los datos capturados por el chip NeuroSky.

## VI. DISCUSIÓN

En este capítulo, se realiza un análisis exhaustivo de los resultados derivados del desarrollo de un prototipo de EEG portátil utilizando el chip NeuroSky, diseñado para investigar la cognición canina en pitbulls de distintas edades. Este enfoque permite la exploración detallada de las variaciones en los patrones de ondas cerebrales en función de la edad de los sujetos, ofreciendo perspectivas sobre el desarrollo cognitivo específico de esta raza.

Los hallazgos se contextualizan dentro del marco de estudios previos, destacando la contribución significativa de este trabajo al conocimiento existente. El estudio se distingue no solo por su focalización en una única raza, que rara vez ha sido objeto de investigaciones en este campo, sino también por la utilización de tecnología portátil para el análisis de la cognición canina, una aplicación predominantemente humana.

Desde la perspectiva de la ingeniería biomédica, los resultados evidencian el potencial transformador de los EEG portátiles en la monitorización y evaluación de la salud cerebral, tanto en contextos veterinarios como humanos. Esta tecnología es una vía para facilitar intervenciones más oportunas, potencialmente mejorando el bienestar y la calidad de vida de los sujetos.

Sin embargo, el estudio admite varias limitaciones que deben ser consideradas. La restricción del tamaño de la muestra y la concentración en una única raza pueden afectar la generalización de los resultados. Asimismo, las diferencias en las condiciones de socialización y el entorno de los pitbulls participantes podrían haber influenciado sus patrones de ondas cerebrales de maneras no anticipadas en el estudio actual.

En base a estas limitaciones, se recomienda que investigaciones futuras amplíen la diversidad de las muestras, incluyendo múltiples razas y considerando variables de control ambiental y comportamental más rigurosas.

Los hallazgos de este estudio no solo validan la viabilidad del uso de EEG portátiles en la investigación canina, sino que también abren nuevas oportunidades para su aplicación en entornos más amplios, promoviendo avances significativos en el monitoreo de la salud cerebral tanto en el ámbito veterinario como potencialmente en el humano.

## VII. CONCLUSIONES

- Se llevó a cabo una exhaustiva revisión de la literatura y estudios científicos existentes sobre la adquisición de señales EEG en canes, lo que permitió obtener un conocimiento profundo del estado actual de la tecnología y su aplicación en estudios caninos. Esta evaluación ayudó a identificar las mejores prácticas, limitaciones y áreas de oportunidad que guiaron el desarrollo del prototipo.

- Se logró diseñar un método adquisitivo y funcional a bajo costo para la ejecución de un estudio de electroencefalografía con el uso del chip NeuroSky implementado en canes. El diseño de esta metodología implicó una metodología en V que permitió ejecutar la fase de desarrollo y validación de manera correcta.

- Se logró adquirir y analizar con éxito las señales electroencefalográficas de dos canes de la misma raza, pero de edades diferentes. La utilización de técnicas estadísticas avanzadas permitió evaluar de manera efectiva los parámetros de las señales EEG, proporcionando datos cuantitativos sobre las diferencias y similitudes en las respuestas cerebrales de los canes

- El análisis de las señales EEG reveló diferencias significativas en las respuestas cerebrales entre los canes de distintas edades. Estos resultados sugieren que la edad puede tener una influencia considerable en la actividad cerebral durante la exposición a actividades cotidianas. El impacto de la edad en la cognición y el comportamiento canino podría ser fundamental para el desarrollo de estrategias de entrenamiento y cuidado adaptadas a la edad de los canes.

## VIII. REFERENCIAS

- [1] Bakaoukas, A. G., Coadá, F., & Liarokapis, F. (2016). Examining brain activity while playing computer games. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 10(1), 13-29.  
<https://doi.org/10.1007/s12193-015-0205-4>
- Barros, E. A. D., & Mesa, M. L. F. (2005). *Análisis de grafoelementos electroencefalográficos en caninos bajo anestesia con Propofol y Tiopental Sódico*. 10.
- Brain waves may focus attention and keep information flowing*. (s. f.). Recuperado 30 de abril de 2024, de <https://www.sciencenews.org/article/brain-waves-may-focus-attention-and-keep-information-flowing>
- Emmanuel Batista, Serracín, S., Gómez, L., Moreno, R., & Moreno, I. (2019). Análisis y caracterización de señales eléctricas del cerebro utilizando interfaz cerebro computador. *Revista de Iniciación Científica*, 5, 110-113. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v5.0.2395>
- Fleyshman, D. I., Wakshlag, J. J., Huson, H. J., Loftus, J. P., Olby, N. J., Brodsky, L., Gudkov, A. V., & Andrianova, E. L. (2021). Development of infrastructure for a systemic multidisciplinary approach to study aging in retired sled dogs. *Aging (Albany NY)*, 13(18), 21814-21837. <https://doi.org/10.18632/aging.203600>
- Folkard, E., McKenna, C., Monteith, G., Niel, L., Gaitero, L., & James, F. M. K. (2024). Feasibility of in-home electroencephalographic and actigraphy recordings in dogs. *Frontiers in Veterinary Science*, 10.  
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2023.1240880>
- Greenblatt, A. S., Beniczky, S., & Nascimento, F. A. (2023). Pitfalls in scalp EEG: Current obstacles and future directions. *Epilepsy & Behavior*, 149, 109500.  
<https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2023.109500>

- Howell, T., Conduit, R., Toukhsati, S., & Bennett, P. (2011). Development of a minimally-invasive protocol for recording mismatch negativity (MMN) in the dog (*Canis familiaris*) using electroencephalography (EEG). *Journal of Neuroscience Methods*, *201*(2), 377-380.  
<https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2011.08.005>
- James, F. M. K., Cortez, M. A., Monteith, G., Jokinen, T. S., Sanders, S., Wielaender, F., Fischer, A., & Lohi, H. (2017). Diagnostic Utility of Wireless Video-Electroencephalography in Unsedated Dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, *31*(5), 1469-1476.  
<https://doi.org/10.1111/jvim.14789>
- Karpiński, M., Kotyra, S., Goleman, M., Wojtaś, J., Garbiec, A., Krupa, W., Zieliński, D., & Czyżowski, P. (2022). EEG readings in dogs depending on their living condition and training. Preliminary study. *Journal of Veterinary Behavior*, *50*, 53-59.  
<https://doi.org/10.1016/j.jveb.2022.02.002>
- Kis, A., Szakadát, S., Gácsi, M., Kovács, E., Simor, P., Török, C., Gombos, F., Bódizs, R., & Topál, J. (2017). The interrelated effect of sleep and learning in dogs (*Canis familiaris*); an EEG and behavioural study. *Scientific Reports*, *7*(1), Article 1.  
<https://doi.org/10.1038/srep41873>
- Luca, J., McCarthy, S., Parmentier, T., Hazenfratz, M., Linden, A. Z., Gaitero, L., & James, F. M. K. (2023). Survey of electroencephalography usage and techniques for dogs. *Frontiers in Veterinary Science*, *10*, 1198134. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1198134>
- Mondino, A., Catanzariti, M., Mateos, D. M., Khan, M., Ludwig, C., Kis, A., Gruen, M. E., & Olby, N. J. (2023). Sleep and cognition in aging dogs. A polysomnographic study. *Frontiers in Veterinary Science*, *10*.  
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2023.1151266>
- Musteata, M., Borcea, D. G., Ștefănescu, R., Solcan, G., & Lăcătuș, R. (2018). Influence of Stainless Needle Electrodes and Silver Disk Electrodes over the Interhemispheric

- Cerebral Coherence Value in Vigil Dogs. *Sensors*, *18*(11), Article 11.  
<https://doi.org/10.3390/s18113990>
- nhnscr. (2023, mayo 9). Understanding Brain Waves: A Comprehensive Guide. *National Human Neural Stem Cell Resource*. <https://www.nhnscr.org/blog/understanding-brain-waves-a-comprehensive-guide/>
- Niso, G., Romero, E., Moreau, J. T., Araujo, A., & Krol, L. R. (2023). Wireless EEG: A survey of systems and studies. *NeuroImage*, *269*, 119774.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2022.119774>
- Pellegrino, F., & Gómez Álvarez, C. M. (2023). Electroencephalographic features of the developing brain in 72 dogs under xylazine sedation: A visual and statistical analysis. *Frontiers in Veterinary Science*, *10*.  
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2023.1150617>
- Provoost, L. (2024). Cognitive Changes Associated with Aging and Physical Disease in Dogs and Cats. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, *54*(1), 101-119.  
<https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2023.08.002>
- Reicher, V., Bálint, A., Újváry, D., & Gácsi, M. (2022). Non-invasive sleep EEG measurement in hand raised wolves. *Scientific Reports*, *12*(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-13643-x>
- Sakai, D. M., Trenholme, H. N., Torpy, F. J., Craig, H. A., & Reed, R. A. (2023). Evaluation of the electroencephalogram in awake, sedated, and anesthetized dogs. *Research in Veterinary Science*, *159*, 66-71. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2023.04.008>
- Sawangjai, P., Hompoonsup, S., Leelaarporn, P., Kongwudhikunakorn, S., & Wilaiprasitporn, T. (2020). Consumer Grade EEG Measuring Sensors as Research Tools: A Review. *IEEE Sensors Journal*, *20*(8), 3996-4024. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2019.2962874>
- Schork, I. G., Manzo, I. A., De Oliveira, M. R. B., da Costa, F. V., Young, R. J., & de Azevedo, C. S. (2022). The cyclic interaction between daytime behavior and the sleep behavior of

laboratory dogs. *Scientific Reports*, 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04502-2>

Schütt-Mast, I., & Stephan, I. (1996). [Significance of electroencephalography for the diagnosis of seizures in dogs]. *Tierärztliche Praxis*, 24(2), 129-136.

Sulisetyo Nugroho, D., & Fahrudi, I. (2019). An Application Real-time Acquiring EEG Signal from Single Lead Electrode to Recognize Brain Activity using Neurosky Sensor. 2019 *International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (iSemantic)*, 400-404.  
<https://doi.org/10.1109/ISEMANTIC.2019.8884337>

Wan, X., Zhang, K., Ramkumar, S., Deny, J., Emayavaramban, G., Siva Ramkumar, M., & Hussein, A. F. (2019). A Review on Electroencephalogram Based Brain Computer Interface for Elderly Disabled. *IEEE Access*, 7, 36380-36387.  
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2903235>

# IX. ANEXOS

## Anexo 1. Canes con el prototipo portable

### Can Mayor y Can Menor

Can Mayor



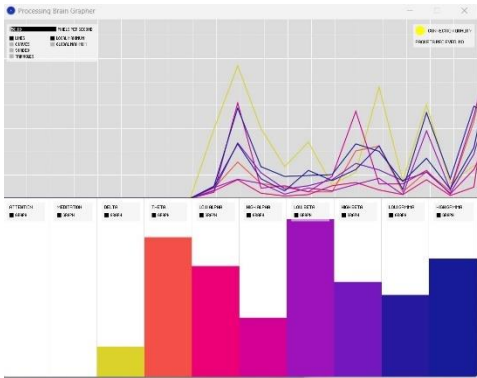
Can Menor



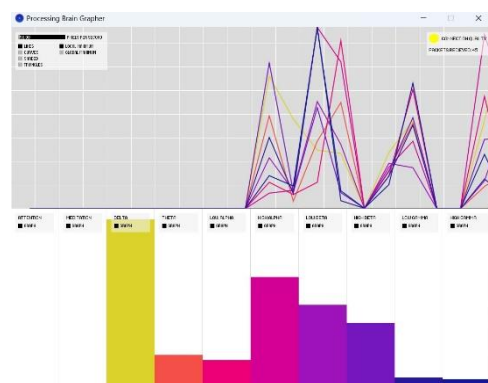
## Anexo2. Gráfico de señales durante actividades

### Actividades cotidianas en los canes

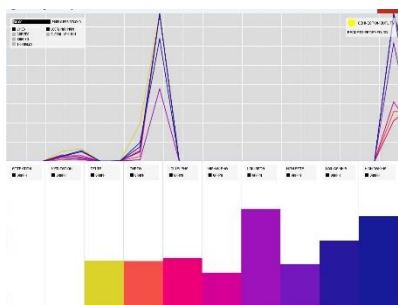
Can Menor- Memorización



Can Menor - Reposo



Can Mayor - Comiendo



Can Mayor - Memorización

