



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**DISEÑO Y PROTOTIPADO DE DISPOSITIVO PARA MONITOREO DE
CONVULSIONES EN EPILEPSIA CANINA**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN BIOMÉDICA**

PRESENTADO POR:

21941207 EDUARDO DAVID ZAVALA ZUNIGA

21951030 KAITHLEEN SHUANG FU MILLA

ASESOR:

REYNA VALLE

CAMPUS SAN PEDRO SULA

ABRIL 2024

DEDICATORIA

A mis padres Carmen Zúniga y Aldo Zavala quienes me han brindado su apoyo incondicional a lo largo de mi vida y de mi carrera universitaria. Agradezco todos sus años de sacrificio y esfuerzo que me han permitido llegar hasta aquí.

- **Eduardo Zavala**

Dedico este trabajo a mis padres, cuyo amor, apoyo y sacrificio han sido pilares fundamentales en mi vida y en la realización de este proyecto de investigación. También quiero mencionar a mi mascota, Benji, cuya presencia y participación en las pruebas del prototipo han sido esenciales. Su lealtad y alegría han iluminado cada paso de este viaje académico.

- **Kaithleen Fu**

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los veterinarios Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a los veterinarios que generosamente colaboraron con nosotros durante el desarrollo de este proyecto. También queremos extender nuestro agradecimiento a la Universidad y deseamos reconocer el invaluable aporte de nuestra asesora, Reyna Valle, cuya orientación y compromiso fueron pilares fundamentales en cada etapa del proyecto.

- **Eduardo y Kaithleen**

A mis padres Carmen Zúniga y Aldo Zavala quienes me han brindado su apoyo incondicional a lo largo de mi vida y de mi carrera universitaria. Agradezco todos sus años de sacrificio y esfuerzo que me han permitido llegar hasta aquí.

- **Eduardo Zavala**

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a Dios por darme fortaleza y guía durante todo este proceso de investigación. Agradezco infinitamente a mi familia, en especial a mis padres, cuyo constante apoyo y amor incondicional han sido mi mayor motivación. También quiero reconocer a mis amigos, cuyo aliento y compañía han hecho este viaje más llevadero. Agradezco de corazón a la familia Cubillas, quienes se han convertido en mi segunda familia y a quienes les guardo un cariño especial. Por último, pero no menos importante, agradezco a mi asesora, cuya dedicación y orientación han sido fundamentales en cada paso del desarrollo de este proyecto de investigación. Sin el apoyo de cada uno de ustedes, este logro no habría sido posible.

- **Kaithleen Fu**

RESUMEN EJECUTIVO

Ante la creciente necesidad de herramientas precisas y no intrusivas para mejorar la calidad de vida de los canes con epilepsia, esta investigación diseñó y prototipó un dispositivo innovador para monitorear convulsiones en canes en entornos domésticos. El objetivo principal fue proporcionar a dueños y veterinarios una herramienta confiable y práctica para el cuidado de la epilepsia canina. Empleando el modelo en V, la metodología aseguró un proceso de gestión estructurado desde la especificación hasta la validación del sistema, resultando en un prototipo que aborda diversas necesidades de los usuarios. Los resultados destacaron la ocurrencia ocasional de casos de epilepsia canina, identificando a los schnauzers como la raza más susceptible en un 60%. Perspectivas diversas sobre los parámetros fisiológicos cruciales para monitorear durante las convulsiones subrayaron la flexibilidad en las prioridades de monitoreo. La encuesta a dueños reveló una diversidad de razas, con los schnauzers constituyendo el 18% de la muestra. Entre los encuestados, el 10% informó que sus mascotas habían experimentado convulsiones, subrayando la relevancia de un sistema de monitoreo. Los métodos actuales para el monitoreo incluyeron la observación visual (40%) y la grabación manual (20%). Las características deseadas para el prototipo fueron variadas, con un 29% enfatizando la precisión, un 18% expresando interés en alertas y un 12% priorizando la duración de la batería. El estudio subrayó la importancia de desarrollar un dispositivo que aborde diversas necesidades de los usuarios, manteniendo la precisión y atributos amigables para el usuario.

Palabras clave: convulsiones, epilepsia canina, frecuencia cardíaca, monitoreo, prototipo, schnauzer, temperatura

ABSTRACT

In response to the growing need for precise and unintrusive tools to enhance the quality of life for dogs with epilepsy, this research aimed to design and prototype a novel device for monitoring seizures in canine companions within domestic settings. The overarching objective was to provide dog owners and veterinarians with a reliable and practical tool, strengthening the links in the care and understanding of canine epilepsy. Employing a systematic and sequential approach, the chosen methodology, the V-model, facilitated a structured management process from specification to system validation. This framework ensured that each phase contributed cohesively to the development of a functional and efficient monitoring device. The research yielded a prototype for seizure monitoring, addressing diverse user needs. Veterinarian surveys highlighted the occasional occurrence of canine epilepsy cases, with 60% identifying schnauzers as the most susceptible breed. Diverse perspectives were revealed regarding the crucial physiological parameters to monitor during seizures, emphasizing flexibility in monitoring priorities. Surveying dog owners revealed a diverse representation of breeds, with schnauzers constituting 18% of the sample. Among respondents, 10% reported their pets had experienced seizures, emphasizing the significant relevance and need for a monitoring system. Methods currently employed for seizure monitoring included visual observation (40%) and manual recording (20%), illustrating a gap in advanced monitoring solutions. Desired features for the monitoring prototype were varied, with 29% emphasizing monitoring precision, 18% expressing interest in alert capabilities, and 12% prioritizing battery life. The study underscored the importance of developing a device that addresses diverse user needs while maintaining precision and user-friendly attributes.

Key words: canine epilepsy, heart rate, monitoring, prototype, seizures, schnauzer, temperature

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN	4
II.	ESTADO DEL ARTE	6
	2.1 ANTECEDENTES	6
	2.2 PROBLEMÁTICA	9
	2.3 IMAGEN INTEGRADORA	12
	2.4 TABLA DE LIMITACIONES	13
III.	OBJETIVOS	21
	OBJETIVO GENERAL	21
	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
IV.	METODOLOGÍA	22
	4.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	22
	4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN	22
	4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	24
	4.4 METODOLOGÍA DE ESTUDIO	28
	4.5 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN	30
	4.6 CRONOGRAMA	31
	4.7 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	32
V.	RESULTADOS	36
	CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO	44
	5.1 VALIDACIÓN DE COMPONENTES DEL PROTOTIPO	44
	5.1.1 Realización de encuestas a los veterinarios	44
	5.1.2 Consultas bibliográficas	44
	5.1.3 Selección de los componentes	44
	5.1.3.1 Sensor de Ritmo Cardíaco "XD-58C"	44
	5.1.3.3 Arduino UNO y Arduino Nano	45
	5.1.3.4 Pantalla LCD I2C y buzzer	45
	5.1.3.5 Baterías LiPo, BMS y convertidor DC Boost	45
	5.2 DESARROLLO DEL PROTOTIPO	46
VI.	DISCUSIÓN	76
VII.	CONCLUSIONES	80
VIII.	RECOMENDACIONES	82
	REFERENCIAS	84
	ANEXOS	93

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Imagen Integradora	12
Ilustración 2 Variables de Investigación	23
Ilustración 3 Plataforma Arduino IDE	24
Ilustración 4 Ensamblaje del Prototipo	24
Ilustración 5 Sensor de frecuencia cardíaca	25
Ilustración 6 Sensor de Temperatura.....	25
Ilustración 7 Arduino UNO	25
Ilustración 8 Regulador de voltaje	26
Ilustración 9 Módulo Bluetooth	26
Ilustración 10 Batería 3.7 V	26
Ilustración 11 Excel	27
Ilustración 12 Microsoft Forms.....	27
Ilustración 13 Diagrama Metodología en V.....	30
Ilustración 14 Cronograma	31
Ilustración 15 Frecuencia con la que se observan casos de epilepsia.....	36
Ilustración 16 Razas más propensas a padecer epilepsia	37
Ilustración 17 Principales parámetros fisiológicos para monitorear	38
Ilustración 18 Razas de canes más populares	40
Ilustración 19 Canes han experimentado convulsiones.....	41
Ilustración 20 Método de monitoreo de convulsiones utilizado por los dueños.....	41
Ilustración 21 Tratamiento o medidas para gestionar las convulsiones de su mascota	42
Ilustración 22 Características del prototipo que los propietarios consideran importantes	43
Ilustración 23 Prueba del sistema en Protoboard.....	46
Ilustración 24 Diagrama de conexiones emisor	46
Ilustración 25 Diagrama conexiones Receptor.....	47
Ilustración 26 Comparativa de datos entre oxímetro de pulso y sistema del prototipo.	47
Ilustración 27 Comparativa datos de termómetro y datos del sistema del prototipo.....	48
Ilustración 28 Conexión módulos bluetooth.....	48
Ilustración 29 Sistema ensamblado en la pechera	49

Ilustración 30 Sistema ensamblado en la pechera	49
Ilustración 31 Prototipo colocado en el can.....	50
Ilustración 32 Dispositivo Receptor.....	51
Ilustración 33 Primera parte código dispositivo emisor	53
Ilustración 34 Segunda parte código dispositivo emisor	54
Ilustración 35 Funciones principales en el código.....	56
Ilustración 36 Gestión de salida de datos.....	58
Ilustración 37 Parte 1 ISR.....	59
Ilustración 38 Parte 2 ISR.....	60
Ilustración 39 Código dispositivo receptor	62
Ilustración 40 Bucle principal dispositivo receptor.....	62
Ilustración 41 Parte final código dispositivo receptor	64
Ilustración 42 Sujeto 1: Benji	67
Ilustración 43 Gráfico monitoreo temperatura can 1.....	67
Ilustración 44 Gráfico monitoreo LPM en can 1	68
Ilustración 45 Sujeto 2: Theo	69
Ilustración 46 Gráfico monitoreo de temperatura Can 2.....	69
Ilustración 47 Gráfico monitoreo LPM Can 2	70
Ilustración 48 Sujeto 3: Millie	71
Ilustración 49 Gráfico monitoreo de temperatura Can 3.....	71
Ilustración 50 Gráfico monitoreo LPM Can 3	72
Ilustración 51 Sujeto 4: Gigi.....	72
Ilustración 52 Gráfico monitoreo de temperatura Can 4.....	73
Ilustración 53 Gráfico monitoreo LPM Can 4	73
Ilustración 54 Sujeto 5: Kira	74
Ilustración 55 Gráfico monitoreo de temperatura Can 5.....	74
Ilustración 56 Gráfico monitoreo LPM Can 5	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tabla de limitaciones.....	13
Tabla 2 Operacionalización de variables.....	32
Tabla 3 Matriz Metodológica.....	34
Tabla 4 Presupuesto del Prototipo	51
Tabla 5 Perfil de canes de la muestra	65

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Prueba de los circuitos.....	93
Anexo 2 Prueba de colocación de componentes en la caja.....	93
Anexo 3 Circuitos soldados	94
Anexo 4 Primeras pruebas.....	94
Anexo 5 Primera prueba de mediciones antes del ensamblaje en pechera	95
Anexo 6 Segunda prueba de mediciones antes del ensamblaje en pechera	95
Anexo 7 Datos obtenidos de la prueba	96
Anexo 8 Prototipo terminado	96
Anexo 9 Preuba de prototipo en el can.....	97
Anexo 10 Prototipo en can 2.....	97
Anexo 11 Encuesta veterinarios	98
Anexo 12 Encuesta Veterinarios.....	99
Anexo 13 Encuesta Veterinarios.....	100
Anexo 14 Encuesta Veterinarios.....	101

LISTA DE SIGLAS

DAE	Drogas antiepilépticas
EEG	Electroencefalograma
EMG	Electromiograma
iEEG	Electroencefalografía Intracraneal
IE	Epilepsia Idiopática
LPM	Latidos por minuto
MS	Muerte súbita
sEMG	Electromiografía de Superficie

GLOSARIO

En este glosario se estarán utilizando definiciones de la Real Academia Española (RAE) y otras fuentes de ayuda.

Acelerómetro: aparato que mide la aceleración de un cuerpo. (ASALE & RAE, 2024)

Convulsión: contracción intensa e involuntaria de los músculos del cuerpo, de origen patológico. (ASALE & RAE, 2024)

Convulsión atónica: también conocidas como convulsiones de caída, ocasionan la pérdida del control muscular. (*Tipos de convulsiones | Epilepsia | CDC, 2019*)

Convulsión clónica: se refiere a un episodio paroxístico en el que se observan movimientos musculares rítmicos y repetitivos, con contracciones y relajaciones alternas de los músculos. (*Convulsión generalizada, 2022*)

Convulsión generalizada: es un periodo de actividad eléctrica descontrolada en el cerebro que provoca una convulsión que afecta a todo el cuerpo. (*Convulsión generalizada, 2022*)

Convulsión mioclónica: episodio que se caracteriza por contracciones musculares breves e involuntarias, afectando grupos musculares específicos. (*Tipos de convulsiones | Epilepsia | CDC, 2019*)

Convulsión tónica: episodio en el que los músculos experimentan una contracción sostenida y continua. (*Tipos de convulsiones | Epilepsia | CDC, 2019*)

Convulsión tónico-clónica: episodio que inicia con una fase de rigidez muscular continua, seguida por movimientos musculares rítmicos y repetitivos, y está asociada a pérdida de conciencia. (*Tipos de convulsiones | Epilepsia | CDC, 2019*)

Electromiografía: prueba que se realiza para medir la actividad eléctrica de los músculos y nervios, examina las señales eléctricas de los músculos cuando están en reposo y cuando están trabajando. (*Electromiografía y estudios de conducción nerviosa, 2024*)

Electroencefalografía: parte de la medicina que es dedicada a la obtención y la interpretación de resultados obtenidos en electroencefalogramas. (ASALE & RAE, 2024)

Electroencefalograma: estudio que mide la actividad eléctrica en el cerebro mediante electrodos que son colocados en el cuero cabelludo. (*Electroencefalografía (EEG) - Mayo Clinic*, s. f.)

Epilepsia: enfermedad persistente del sistema nervioso que se manifiesta principalmente a través de episodios recurrentes, ya sean convulsivos o no, y que pueden llevar a la pérdida eventual de la conciencia. (ASALE & RAE, 2024)

Eutanasia: intervención deliberada para poner fin a la vida de un paciente sin perspectiva de cura. (ASALE & RAE, 2024)

Fenobarbital: medicamento que se utiliza para evitar las convulsiones, también es utilizado para sedar a los pacientes y para aliviar la ansiedad. (*Fenobarbital*, 2024)

Frecuencia cardíaca: el número de veces que se contrae el corazón durante un minuto. (Administrator, 2024)

Inercia: propiedad de los cuerpos de mantener su estado de reposo o movimientos si no es por la acción de una fuerza. (ASALE & RAE, 2024)

Invasivo: que obliga a penetrar en el cuerpo mediante una incisión en la piel o a introducir en el instrumento o material extraño al organismo. (ASALE & RAE, 2024)

Muerte súbita: la que ocurre de manera inesperada dentro de la primera hora desde el inicio de los síntomas o si se produce en ausencia de testigos cuando el fallecido ha estado en buenas condiciones menos de 24 h de haber fallecido. (Bayés de Luna & Elosua, 2012)

No invasivo: un procedimiento que no requiere insertar un instrumento a través de la piel o en una abertura corporal. (*Diccionario de cáncer del NCI - NCI*, 2011)

I. INTRODUCCIÓN

La epilepsia canina, una patología que afecta aproximadamente al 0.75% de la población canina a nivel mundial, constituirá un desafío recurrente en la medicina veterinaria en los próximos años. Con más de 5 millones de canes afectados (Canine Health Foundation, 2020), esta enfermedad se caracteriza por convulsiones recurrentes, que representan la manifestación clínica de una descarga rápida y excesiva de neuronas en el cerebro.

Los tratamientos actuales para la epilepsia canina suelen implicar el uso de fármacos anticonvulsivos de por vida (Barry et al., 2021), lo que, lamentablemente, puede disminuir la esperanza de vida de los canes afectados en comparación con la población en general. Además, se estima que alrededor de un 30% de los pacientes caninos con epilepsia muestran resistencia a los medicamentos (Hasegawa, 2016), destacando así la necesidad de un sistema de alerta confiable capaz de anticipar las convulsiones y permitir ajustes oportunos en el tratamiento.

La detección temprana de convulsiones en canes es esencial para prevenir lesiones y adaptar estrategias terapéuticas. Aunque las técnicas como la electroencefalografía (EEG) han demostrado su eficiencia (Fischer, 2020), su aplicación práctica en entornos domésticos se ve limitada. En este contexto, esta investigación se propone desarrollar un prototipo para el monitoreo de convulsiones en el hogar, utilizando sensores específicos para recopilar datos durante estos eventos.

La investigación comprenderá los siguientes aspectos:

La revisión de la literatura abordará estudios previos sobre la epilepsia canina, los tratamientos existentes y las tecnologías de monitoreo disponibles, así como las limitaciones y desafíos en el manejo de la enfermedad. El diseño del prototipo detallará el proceso de diseño del dispositivo de monitoreo, incluyendo la selección de sensores, la configuración del sistema y la integración de tecnologías de comunicación.

La implementación y pruebas describirán la implementación del prototipo en entornos domésticos y se realizarán pruebas para evaluar su funcionamiento y precisión en la detección de

convulsiones. Los resultados y la discusión analizarán los resultados obtenidos durante las pruebas, se discutirán las implicaciones de los hallazgos y se identificarán posibles áreas de mejora para futuras investigaciones.

Las conclusiones y recomendaciones presentarán las conclusiones del estudio, así como recomendaciones para la aplicación práctica del dispositivo de monitoreo y sugerencias para investigaciones futuras. Este estudio se espera que contribuya significativamente a la mejora de la calidad de vida de los perros afectados por la epilepsia canina y ofrezca una herramienta valiosa para la gestión clínica de la enfermedad en entornos domésticos en el futuro.

II. ESTADO DEL ARTE

Dentro de esta sección se abordan los antecedentes y la problemática del proyecto de investigación, contextualizando la importancia de este proyecto.

2.1 ANTECEDENTES

La epilepsia es un trastorno que afecta principalmente al cerebro y causa que el organismo sufra de convulsiones durante un periodo de tiempo (*Epilepsia: MedlinePlus enciclopedia médica*, s. f.). De acuerdo con (Bou Assi et al., 2018) en su estudio **<Un esquema genético funcional para la predicción de convulsiones en la epilepsia canina>**, la forma más común de tratamiento es la medicación a largo plazo, a la que el 30% de los pacientes son refractarios. Se recomienda la cirugía cerebral cuando falla la terapia médica. El resultado de la cirugía depende de la localización de los focos.

Manifestaciones convulsivas (semiología) y electroencefalografía de superficie (EEG) epileptiformes son características clave de una localización anatómica amplia, que puede afinarse aún más con pruebas de neuroimagen y registros de EEG intracraneal (iEEG).

En otro estudio **<Bicoherencia del EEG intracraneal: un nuevo precursor de la actividad convulsiva en la epilepsia canina>** realizado por (Gagliano et al., 2018) se establece que, aunque años de investigación han dado lugar al desarrollo de fármacos antiepilépticos, más de un tercio de los pacientes siguen sin responder al tratamiento farmacológico y sólo el 5% son candidatos a la cirugía cerebral.

En el estudio **<Comorbidity of epilepsy: current concepts and future perspectives>**, (Keezer et al., 2016) establece que el aspecto más discapacitante de la epilepsia es la naturaleza espontánea, recurrente e impredecible de las crisis, que crean una fuente constante de preocupación y peligro para los pacientes.

En el estudio **<Nuevos dispositivos subcutáneos e intracraneales para registrar y analizar de forma inalámbrica EEG continuo en perros no sedados y que se comportan en sus entornos naturales: Un nuevo paradigma en la investigación de la epilepsia canina>**,

(Löscher & Worrell, 2022) establecieron que la epilepsia es la enfermedad cerebral más frecuente en perros domésticos, estimándose que entre el 0.6% y el 0.7% de estos padecen de esta condición.

Así como en los humanos, la epilepsia canina está compuesta por un amplio rango de síntomas y causas. En años recientes se han llevado a cabo algunos estudios en cuanto a dispositivos que ayuden a al análisis y tratamiento de la epilepsia canina como el estudio realizado por (Barry et al., 2021) llamado **< Actividad diurna y nocturna en perros tratados con epilepsia idiopática en comparación con controles emparejados no afectados >**, en el cual y utilizó un dispositivo para monitorear la actividad de los perros que utilizaban drogas antiepilépticas (DAE).

El objetivo de este estudio era comparar de forma cuantitativa los niveles de actividad de perros con epilepsia idiopática (EI) en comparación con otro grupo de control de la misma raza y edad. El dispositivo les permitió llegar a la conclusión de que había una reducción en los niveles de actividad de los perros que estaban tomando DAE.

También se encuentra otro estudio realizado por (Bocheńska et al., 2014) llamado **<Análisis de registros electroencefalográficos en el seguimiento de la epilepsia idiopática canina tratada con fenobarbital. Estudio piloto >**, en el cual se tenía como objetivo estudiar las diferencias entre los EEG de perros con epilepsia sin tratar y perros que estaban bajo monoterapia fenobarbital. Se logró encontrar que había una variación en las bandas de frecuencia delta del EEG de los perros que estaban bajo esta terapia.

El análisis de los datos obtenidos por los parámetros físicos del perro permite que se tenga un mayor entendimiento de la eficacia del tratamiento, de forma similar esta investigación busca identificar un patrón que permita predecir la presencia de una de estas convulsiones ocasionadas por la epilepsia. A pesar de ser un estudio algo antiguo, su importancia se encuentra en el hecho de que logra establecer que existen patrones que se pueden detectar para poder identificar las convulsiones y sus efectos; estos a su vez se ven afectados por el tratamiento y la terapia.

De acuerdo con (Ulate-Campos et al., 2016) en su estudio **<Sistemas automatizados de detección de crisis y su eficacia para cada tipo de crisis>**, uno de los principales problemas con el monitoreo de convulsiones es que esto suele ser subjetivo y se ve afectado por el nivel de consciencia y la habilidad que tenga el paciente de reconocer cuando se presenta una convulsión, esto se vuelve más difícil cuando los pacientes son animales. Los dispositivos que pueden detectar convulsiones en animales pueden ser de gran ayuda para mejorar el tratamiento y la comprensión de esta condición. Sin embargo, para garantizar su seguridad y eficacia, estos dispositivos deben cumplir con regulaciones estrictas tanto en Estados Unidos como en la Unión Europea.

En Estados Unidos, el Centro de Medicina Veterinaria (CVM) de la FDA regula los dispositivos médicos veterinarios bajo la Ley Federal de Alimentos, Medicamentos y Cosméticos (FD&C Act) y la Ley de Servicios de Salud Pública (PHS Act). Los dispositivos se clasifican según su uso previsto y nivel de riesgo, y deben cumplir con requisitos rigurosos de diseño, fabricación y presentación de pruebas de rendimiento antes de su comercialización (Medicine, 2023).

En la Unión Europea, los dispositivos médicos veterinarios están regulados por el Reglamento de Dispositivos Médicos (MDR) o el Reglamento de Dispositivos Médicos de Diagnóstico in Vitro (IVDR). Estos reglamentos establecen requisitos esenciales en cuanto a seguridad, rendimiento y calidad que deben cumplir los dispositivos. Además, se requiere la participación de organismos notificados para evaluar el cumplimiento de estos requisitos.

2.2 PROBLEMÁTICA

La epilepsia canina, es una patología que se estima afecta al 0.75% de la población canina a nivel mundial, esto representando a más de 5 millones de canes, es una patología heterogénea caracterizada por convulsiones recurrentes (Canine Health Foundation, 2020). Este problema constituye un desafío recurrente en la medicina veterinaria, ya que las convulsiones en perros son la manifestación clínica de una descarga rápida y excesiva de neuronas en el cerebro. Comúnmente, los perros afectados por esta enfermedad experimentan las primeras convulsiones durante los primeros seis años de vida (Fischer, 2020b).

De acuerdo a (Bocheńska et al., 2014), en el estudio **<Electroencephalography recording analysis in monitoring of canine idiopathic epilepsy treated with phenobarbital>**, se encontró que la edad promedio en la que comienzan las convulsiones en los perros es a los 18 meses, y el lapso desde este inicio hasta el registro de EEG fue de 3 meses. La frecuencia promedio de las convulsiones fue de 3 episodios por mes. Los perros que padecen de esta patología son tratados con fármacos anticonvulsivos de por vida y suelen tener una esperanza de vida disminuida en comparación con la población en general (Blades Golubovic & Rossmeisl, 2017).

Sin embargo, se ha encontrado que alrededor del 30% de los pacientes caninos con epilepsia muestran resistencia a los medicamentos anticonvulsivos (Hasegawa, 2016). Debido a esto, contar con un sistema de alerta confiable que pueda avisar antes de las convulsiones sería de gran ayuda para el tratamiento de epilepsia resistente a los medicamentos y en general. Esto les permitiría a los dueños de los perros ajustar sus actividades o medicamento de manera oportuna (Brinkmann et al., 2015).

Normalmente, los perros que sufren de epilepsia exhiben convulsiones tónico-clónicas generalizadas. Se define como convulsión generalizada aquel evento en el que están involucrados al menos dos hemisferios cerebrales y que se manifiesta con características tónicas, clónicas o tónico-clónicas (Kwiatkowska et al., 2018).

No obstante, también se observan otras manifestaciones, como convulsiones clónicas, mioclónicas y atónicas (Bocheńska et al., 2014). Los efectos adversos en términos de salud, tanto a corto como largo plazo, son diversos y son atribuibles tanto a la enfermedad como a las intervenciones terapéuticas (Podell et al., 2016). Las convulsiones que no son controladas de manera adecuada conllevan un riesgo significativo de lesiones y muerte. La muerte súbita inesperada puede ocurrir como resultado de convulsiones repetitivas o prolongadas no presenciadas en pacientes vulnerables (Coles et al., 2013).

Debido a esto, numerosos propietarios muestran inquietud y ansiedad acerca de que sus mascotas experimenten convulsiones, sobre todo cuando no las están observando directamente (Bongers et al., 2021). Una de las mayores inquietudes de los dueños de los perros es la posibilidad que las convulsiones pasen desapercibidas o se noten demasiado tarde.

Los cuidadores de perros que sufren de esta patología experimentan un estrés severo debido a las convulsiones recurrentes (Hirashima et al., 2022). Ya que, según estadísticas, entre un 20 y 60% de perros que padecen epilepsia son sometidos a eutanasia como consecuencia directa de las convulsiones, esto representa a una cantidad estimada de 3,150,000 perros (*17. Monografico epilepsia canina.pdf*, s. f.).

Por este motivo es clave contar con un método confiable de detección de convulsiones, ya que esto permite la aplicación rápida de medidas de emergencia con el fin de prevenir la progresión de las convulsiones y adaptar las maneras de tratamiento según los veterinarios (Meller et al., 2022).

Existen diversas maneras de diagnosticar y monitorear las convulsiones actualmente, en la práctica veterinaria se llevan a cabo procedimientos como EEG (Hasegawa, 2016). Las técnicas de monitoreo de EEG han demostrado ser efectivas para predecir convulsiones. Sin embargo, estas técnicas implican procedimientos invasivos que no son prácticos, por lo que métodos no invasivos de predicción de convulsiones basados en el cambio de comportamiento de los perros antes de una convulsión resultarían más prácticos desde el punto de vista clínico (Fischer, 2020b).

Los enfoques no invasivos para prever convulsiones en perros pueden basarse en reconocer alteraciones en el comportamiento del perro, como niveles de actividad o patrones de conducta, que su propietario puede detectar visualmente, o en el futuro, utilizando tecnologías para medir automáticamente cambios conductuales, por ejemplo, unidades de medición de inercia (Finnegan et al., 2020).

Los dispositivos portátiles para detectar convulsiones ofrecen una medición más precisa de estos eventos, lo que capacita a los profesionales para llevar el tratamiento de mejor manera (Ulate-Campos et al., 2016). Se han obtenido resultados alentadores mediante el uso de sensores para la detección de movimiento, variabilidad en la frecuencia cardíaca, actividad electro dermal (conducción de la piel) y electromiografía de superficie (sEMG) (Bongers et al., 2021).

Los sensores más utilizados para este tipo de monitoreo continuo de las convulsiones son los acelerómetros, ya que son fáciles de colocar y rara vez fallan al proporcionar una señal adecuada (Arends, 2018). Se debe tomar en cuenta que la capacidad de los acelerómetros para ser específicos y sensibles está relacionada con el algoritmo asociado que analiza la velocidad, amplitud, intensidad, duración y ritmo de la convulsión (Jory et al., 2016).

Según (Muñana et al., 2020), en el estudio **<Evaluation of a collar-mounted accelerometer for detecting seizure activity in dogs>** que se realizó en el Hospital Veterinario de la Universidad Estatal de Carolina del Norte, se utilizó un acelerómetro, montado en un collar, que utiliza una conexión inalámbrica a internet para cargar datos y algoritmos con el fin de detectar y monitorear actividades y convulsiones. Se ha propuesto la idea de que, para detectar de manera más confiables las convulsiones nocturnas se utilicen dos acelerómetros en estos dispositivos.

Sin embargo, estos dispositivos para el monitoreo de convulsiones en la epilepsia canina aún no han salido de la etapa de prueba por lo que no están disponibles para el público, lo que puede representar una barrera significativa para algunos propietarios en busca de soluciones accesibles para el seguimiento de su condición médica.

2.3 IMAGEN INTEGRADORA

En la imagen integradora se plasma la problemática y la solución a esta, se da a conocer el porcentaje de perros que padecen epilepsia a nivel mundial y la solución que es el prototipo de este proyecto de investigación.

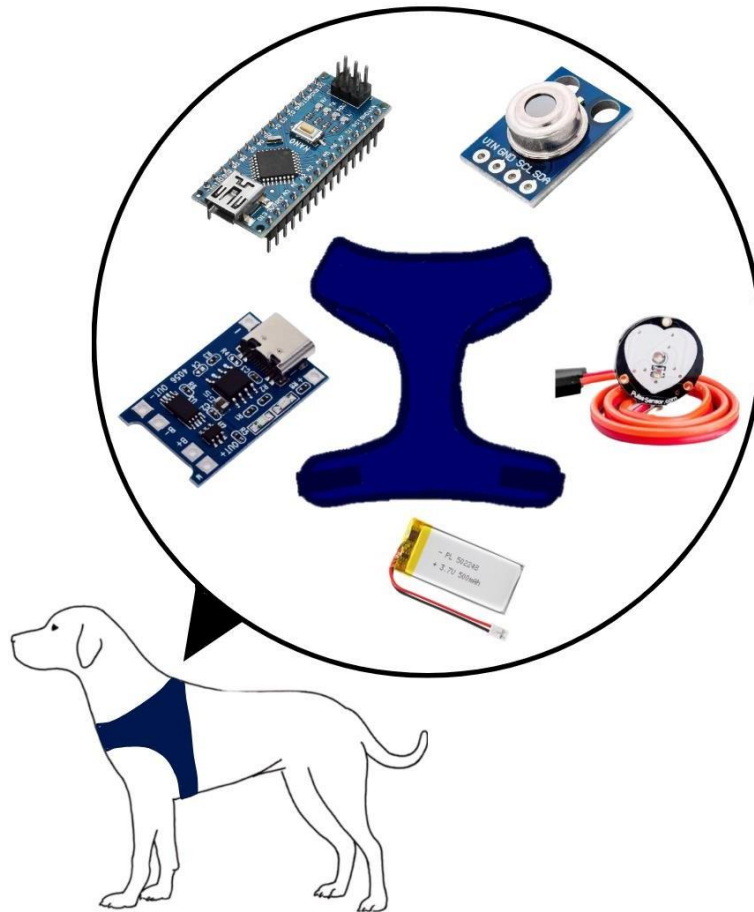


Ilustración 1 Imagen Integradora

Fuente: (Elaboración Propia)

2.4 TABLA DE LIMITACIONES

Tabla 1 Tabla de limitaciones

Artículo	Autores	País	Enfoque del estudio	Año	Detalle de Limitaciones
Feasibility Study of a Caregiver Seizure Alert System in Canine Epilepsy	Lisa D Coles, Edward E Patterson, Warren D Sheffield, Jaideep Mavoori, Jason Higgins, Mike Bland, Kent Leyde, James C Cloyd, Brian Litt	Estados Unidos	Evaluar un Sistema de monitoreo de convulsiones en perros con epilepsia, utilizando un dispositivo implantable denominado Seizure Advisory System (SAS).	2013	<ul style="list-style-type: none"> El tamaño de la muestra es pequeño, el estudio se realizó con cinco perros. No hay un grupo de control, por lo que no se puede realizar la comparación en perros que no utilizaron el dispositivo.
Electroencephalograph y recording analysis in monitoring of canine idiopathic epilepsy treated with phenobarbital	A. Bocheńska, M. Kwiatkowska, A. Pomianowski, T. Monowid, y Z. Adamiak	Polonia	Investigar las diferencias en el electroencefalograma (EEG) entre perros epilépticos no tratados y aquellos en monoterapia fenobarbital.	2014	<ul style="list-style-type: none"> La variabilidad en las características de las convulsiones (por ejemplo, duración, tipo) no se aborda completamente en el estudio. La ausencia de un grupo de control puede hacer que sea difícil determinar si los cambios observados son específicos del tratamiento con fenobarbital o si podrían deberse a otros factores.

Artículo	Autores	País	Enfoque del estudio	Año	Detalle de Limitaciones
2015 ACVIM Small Animal Consensus Statement on Seizure Management in Dogs	M. Podell, H.A. Volk, M. Berendt, W. Losher, K. Muñana, E.E. Patterson, y S.R. Platt	Estados Unidos	Declaración de un consenso científico y clínico sobre el manejo de convulsiones en perros.	2015	<ul style="list-style-type: none"> • No se proporciona información detallada sobre la población de perros incluida, como la raza y edad. • No se proporciona como se evaluó la calidad de vida de los perros en el estudio. • Se menciona la importancia de evitar efectos adversos, pero no se especifica como se evaluaron o consideraron estos efectos.
Forecasting Seizures Using Intracranial EEG Measures and SVM in Naturally Occurring Canine Epilepsy	Benjamin H. Brinkmann, Edward E. Patterson, Charles Vite, Vincent M. Vasoli, Daniel Crepeau, Matt Stead, J. Jeffry Howbert, Vladimir Cherkassky, Joost B. Wagenaar, Brian Litt, Gregory A. Worrell	Estados Unidos	Identificación de estados preictales en perros con epilepsia focal resistente a medicamentos, utilizando grabaciones de iEEG.	2015	<ul style="list-style-type: none"> • El estudio se basó en un pequeño número de perros. • No se menciona la presencia de un grupo de control que no tenga dispositivos de monitoreo.

Artículo	Autores	País	Enfoque del estudio	Año	Detalle de Limitaciones
Automated seizure detection systems and their effectiveness for each type of seizure	A. Ulate-Campos, F. Coughlin b, M. Gaínza-Lein, I. Sánchez Fernández, P.L. Pearl, T. Loddenkemper	Reino Unido	Abordar la epilepsia desde la perspectiva de la detección de convulsiones, con el objetivo de mejorar el manejo clínico y la calidad de vida de los pacientes.	2016	<ul style="list-style-type: none"> • Aunque se menciona que el sEMG puede diferenciar entre convulsiones epilépticas y no epilépticas, el texto no profundiza en la especificidad de este método y sus limitaciones. • Estos dispositivos no se consideran para uso a largo plazo.
Safe and sound? A systematic literature review of seizure detection methods for personal use	Caryn Jory, Rohit Shankar, Deborah Coker, Brendan McLean, Jane Hanna, Craig Newman	Reino Unido	Realizar una revisión sistemática de la calidad de evidencia respaldando los dispositivos de detección de convulsiones.	2016	<ul style="list-style-type: none"> • Los falsos positivos fueron difíciles de registrar con precisión, y en muchos de los estudios no se corroboraba con las señales EEG. • La falta de un grupo de control en muchos de los estudios revisados limita la capacidad de establecer comparaciones significativas y determinar la eficacia relativa de las diferentes tecnologías.

Artículo	Autores	País	Enfoque del estudio	Año	Detalle de Limitaciones
Status epilepticus in dogs and cats, part 2: Treatment, monitoring, and prognosis	Susan Blades Golubovic y John H. Rossmeisl Jr	Estados Unidos	Las opciones de tratamiento, técnicas de monitoreo y pronósticos asociados con el estado epiléptico en medicina veterinaria.	2017	<ul style="list-style-type: none"> • La ausencia de un grupo de control podría hacer que sea difícil atribuir los resultados directamente al monitoreo EEG. • El estudio se centra en medicamentos utilizados en las terapias para epilepsia, pero se menciona que hay una falta de evidencia que demuestre claramente los beneficios del uso de terapias con benzodiazepinas.
Bicoherence of Intracranial EEG: A Novel Precursor of Seizure Activity in Canine Epilepsy	Laura Gagliano, Elie Bou Assi, Mohamad Sawan, y Dang K. Nguyen	Canadá	Evaluación de la bicoherencia como una medida de las interacciones no lineales de acoplamiento para la predicción de convulsiones en la epilepsia canina.	2018	<ul style="list-style-type: none"> • La variabilidad de los resultados entre los diferentes electrodos. • No se especifica si se realizaron ajustes individuales para cada perro en términos de las características específicas de las convulsiones. • No se proporciona información sobre la densidad de electrodos utilizada en el estudio.

Artículo	Autores	País	Enfoque del estudio	Año	Detalle de Limitaciones
Clinical Risk Factors for Early Seizure Recurrence in Dogs Hospitalized for Seizure Evaluation	M. Kwiatkowska, A. Tipold, E. Huenerfauth, y A. Pomianowski	Polonia y Alemania	Identificación de factores de riesgo asociados con la recurrencia temprana de convulsiones en perros con epilepsia.	2018	<ul style="list-style-type: none"> • La revisión retrospectiva abarca un periodo de tiempo extenso, durante el cual podrían haber ocurrido cambios en las prácticas clínicas y enfoques diagnósticos. • La inclusión de perros se basó en la disponibilidad de información completa en la base de datos.
Movement-based seizure detection	Johan B. A. M. Arends	Países Bajos	Se centra en realizar una revisión crítica sobre el uso de detección de movimiento en las convulsiones epilépticas.	2018	<ul style="list-style-type: none"> • Los resultados obtenidos en entornos controlados, como unidades de monitoreo de epilepsia (EMU), pueden no ser directamente aplicables a entornos del mundo real. • La sensibilidad y especificidad de los sensores pueden variar según el tipo de convulsiones.

Artículo	Autores	País	Enfoque del estudio	Año	Detalle de Limitaciones
Evaluation of a collar-mounted accelerometer for detecting seizure activity in dogs	Karen R. Muñana, Julie A. Nettifee, Emily H. Griffith, Peter J. Early, y Nathanael C. Yoder	Estados Unidos	Evaluar el uso de acelerómetros para detectar la actividad epiléptica en perros con epilepsia idiopática.	2020	<ul style="list-style-type: none"> • La exclusión de perros debido a que los propietarios no sabían cómo utilizar adecuadamente la tecnología. • La diversidad en los medicamentos antiepilépticos utilizados por los perros en el estudio podría afectar la interpretación de los resultados. • Se señala que el algoritmo predefinido del acelerómetro tiene una baja sensibilidad con aproximadamente un 20% de precisión.
Idiopathic epilepsy in dogs: Insights into factors that may predict upcoming seizure activity	Andrea Fischer	Estados Unidos	Se centra en la epilepsia idiopática, aborda los desafíos de en el manejo de este tipo de epilepsia.	2020	<ul style="list-style-type: none"> • La dependencia de la percepción de los dueños para identificar señales premonitorias y triggers de convulsiones puede introducir sesgo y subjetividad. • La ausencia de un grupo de control o comparativo.

Artículo	Autores	País	Enfoque del estudio	Año	Detalle de Limitaciones
Owner's Perception of Seizure Detection Devices in Idiopathic Epileptic Dogs.	Jos Bongers, Rodrigo Gutiérrez-Quintana y Catherine Elizabeth Stalin	Reino Unido	El estudio explora métodos novedosos para detectar convulsiones epilépticas que utilizan cambios en biomarcadores durante las fases preictal e ictal.	2021	<ul style="list-style-type: none"> • La información recopilada a través de encuestas depende en gran medida de la memoria y la interpretación de los participantes. Puede haber sesgos de recuerdo o respuestas sociales que afecten la precisión de los datos recopilados. • La ausencia de un grupo de control o de comparación limita la capacidad de establecer comparaciones significativas.
Detection of Generalized Tonic-Clonic seizures in Dogs with a Seizure Detection System Established using Acceleration and the Mahalanobis	Junya Hirashima, Miyoko Saito, Tsukasa Kuriyama, Taketo Akamatsu y Minoru Yokomori	Japón	Desarrollo de un Sistema de detección de convulsiones para perros utilizando datos de aceleración.	2022	<ul style="list-style-type: none"> • El estudio se basa en un número limitado de perros. • Se utilizó bemegrada como inductor de convulsiones en algunos perros con epilepsia. Esto puede afectar la representatividad de las convulsiones naturales. • No se especifican las razas de los perros en el estudio.

Artículo	Autores	País	Enfoque del estudio	Año	Detalle de Limitaciones
Investigating the potential for seizure prediction in dogs with idiopathic epilepsy: Owner-reported prodromal changes and seizure triggers	Sarah Louise Finnegan, Holger Andreas Volk, Lucy Asher, Monica Daley, Dr Rowena Mary Anne Packer	Reino Unido	Investigar la capacidad de los dueños de perros con epilepsia idiopática para predecir convulsiones en sus mascotas.	2022	<ul style="list-style-type: none"> • No hay evaluación de cómo cambia la capacidad de predicción con el tiempo. • No se aborda si la percepción del propietario sobre la predicción de convulsiones se correlaciona con la evaluación clínica de un veterinario.
Sounds of seizures-acoustic information enables immediate recognition and detection of generalized tonic-clonic seizures in dogs	Meller, Sebastian; Zamansky, A.; Sinitca, A.; Kaplun, D.; Meyerhoff, Nina Sophie Barbara; Stein, V.; Tipold, Andrea; Volk, Holger Andreas	Estados Unidos	Aplicación de inteligencia artificial para abordar la detección de convulsiones en perros con epilepsia.	2022	<ul style="list-style-type: none"> • La muestra utilizada en el estudio puede no ser completamente representativa de la diversidad de casos de convulsiones en perros. Factores como la raza, la edad, el tamaño pueden influir. • El sistema fue evaluado en un entorno controlado, debería ser evaluado en entornos cotidianos teniendo en cuenta la velocidad de detección y la capacidad para funcionar de manera eficiente en situaciones prácticas.

III. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar un prototipo para el monitoreo de convulsiones en el entorno doméstico, con sensores específicos que permitan la recopilación de datos durante eventos convulsivos, mejorando el cuidado de perros con epilepsia.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Colaborar con veterinarios para realizar un levantamiento de datos sobre los parámetros específicos durante eventos convulsivos en perros con epilepsia.
- Seleccionar sensores y programar algoritmos que analicen los datos recopilados por los sensores para detectar patrones indicativos de convulsiones.
- Evaluar factores que puedan influenciar la aceptación del prototipo en el entorno doméstico por parte de los dueños, considerando aspectos de usabilidad, comodidad y facilidad de integración en la rutina diaria.

IV. METODOLOGÍA

En esta sección se presenta la metodología utilizada en este proyecto de investigación, detallando las técnicas y los instrumentos utilizados durante el proceso de investigación.

4.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Se optó por un enfoque mixto, una metodología de investigación que involucra la recopilación, análisis e integración de datos tanto cualitativos como cuantitativos (Ortega, 2021). Este enfoque se eligió estratégicamente cuando la comprensión del problema de investigación requería una perspectiva más completa y enriquecedora que no podía obtenerse exclusivamente a través de métodos cuantitativos o cualitativos de manera separada.

Los métodos cuantitativos se emplearon para obtener datos objetivos y medibles relacionados con la validación técnica del prototipo y la evaluación cuantitativa de la aceptación, mientras que los métodos cualitativos, como análisis de percepciones, se utilizaron para explorar aspectos subjetivos. Esta combinación sistemática de enfoques proporciona una visión holística del impacto de la innovación propuesta en la epilepsia canina.

4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

4.2.1 VARIABLE DEPENDIENTE

La variable dependiente que ha sido identificada para esta investigación es el diseño del prototipo de un dispositivo para detectar las convulsiones en perros.

Se escogió esta como variable dependiente ya que el diseño del dispositivo es el resultado o la salida que se pretende estudiar y analizar en el contexto de la investigación. En otras palabras, el diseño del prototipo es la variable que se ve afectada o influenciada por las variaciones en las variables independientes que se manipulan en el estudio.

4.2.2 VARIABLES INDEPENDIENTES

Las variables independientes son los factores o condiciones que se manipulan o controlan para observar su efecto sobre la variable dependiente, es decir, el diseño del prototipo. En esta

investigación se han identificado varias variables independientes que podrían influir en el desarrollo del prototipo.

- Características de los componentes: se incluyen las especificaciones de los materiales y componentes utilizados en el dispositivo, como sensores y otros elementos.
- Método de ensamblaje utilizado: el proceso de ensamblaje utilizado en el prototipo, que abarca las técnicas y métodos utilizados para unir y organizar los componentes entre sí.
- Anatomía y fisiología canina: las características anatómicas y fisiológicas de los perros, que deben ser consideradas para la compatibilidad y efectividad del prototipo en su aplicación.
- Parámetros ergonómicos: factores relacionados con la comodidad y adaptabilidad del prototipo al entorno y características físicas de los perros, buscando minimizar cualquier impacto negativo en su bienestar.
- Presupuesto: la cantidad de recursos financieros asignados para el desarrollo del prototipo, lo que puede influir en las decisiones sobre los materiales y métodos de ensamblaje.

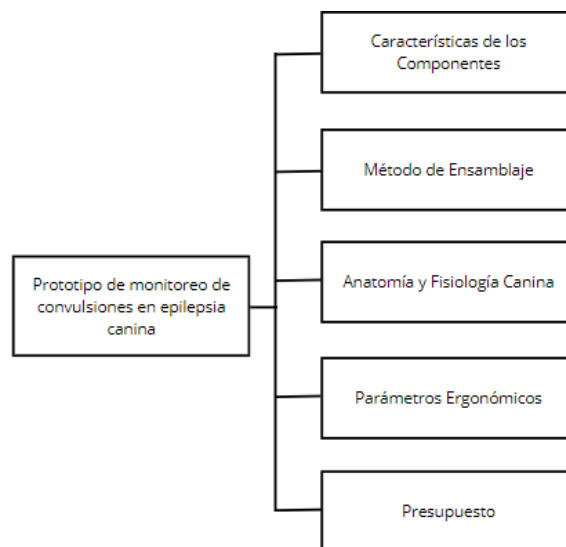


Ilustración 2 Variables de Investigación

Fuente: (Elaboración propia)

4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

En este apartado se mencionan las técnicas e instrumentos utilizados en esta investigación.

- Arduino IDE: Esta técnica permite realizar la programación del microcontrolador encargado de manejar los sensores que medirán los parámetros fisiológicos y registrara los datos. Utiliza lenguaje en C/C++.



Ilustración 3 Plataforma Arduino IDE

Fuente: (Arduino.cc)

- Ensamblaje de prototipo: Esta técnica compone el ensamblaje del microcontrolador, la fuente de energía y todos los sensores que medirán los parámetros fisiológicos del perro.



Ilustración 4 Ensamblaje del Prototipo

Fuente: (Elaboración Propia)

- Sensor de frecuencia cardíaca: Es el sensor encargado de medir la frecuencia cardíaca del perro a través del uso de la tecnología óptica. Los datos obtenidos serán leídos y guardados por el microcontrolador Arduino.



Ilustración 5 Sensor de frecuencia cardíaca

Fuente: (Altronics)

- Sensor de temperatura: Este sensor medirá la temperatura corporal del perro a través del uso de luz infrarroja. De igual forma, estos datos serán leídos y registrados por el microcontrolador Arduino.



Ilustración 6 Sensor de Temperatura

Fuente: (C&D Tecnologia)

- Arduino UNO: Es la parte principal del dispositivo. Este microcontrolador ejecutara el código cargado a través de la plataforma Arduino IDE. Su trabajo es recopilar, procesar y almacenar los datos obtenidos por los sensores.



Ilustración 7 Arduino UNO

Fuente: (Arduino.cc)

- MT3608: es un regulador de voltaje ascendente DC, su trabajo es elevar los 3.7 V de la batería a un voltaje apropiado para el microcontrolador Arduino.



Ilustración 8 Regulador de voltaje

Fuente: (C&D Tecnología)

- Módulo bluetooth HM-10: módulo Bluetooth low energy, que es utilizado para transmitir los datos obtenidos por los sensores hacia el celular del dueño, tiene un alcance de 10 metros.



Ilustración 9 Módulo Bluetooth

Fuente: (Altronics)

- Fuente de poder: La fuente de energía será un banco de batería de litio de 3.7 V lo cual permitirá que el dispositivo sea portátil.

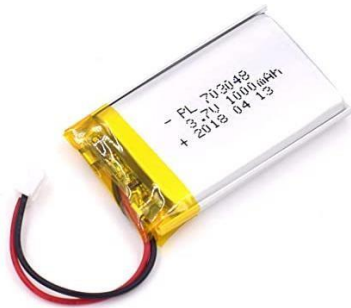


Ilustración 10 Batería 3.7 V

Fuente: (C&D Tecnología)

- Excel: Aplicación de hojas de cálculo ampliamente utilizada que facilita la realización de análisis estadísticos. Ofrece una amplia gama de funciones y herramientas que permiten realizar cálculos estadísticos de manera eficiente

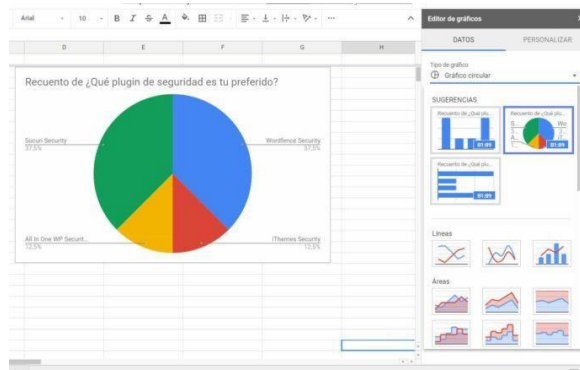


Ilustración 11 Excel

Fuente: (Elaboración Propia)

- Microsoft Forms: Esta es una herramienta de encuestas y formularios en línea que forma parte del conjunto de aplicaciones de Microsoft 365. Diseñada para facilitar la recopilación de información de manera sencilla

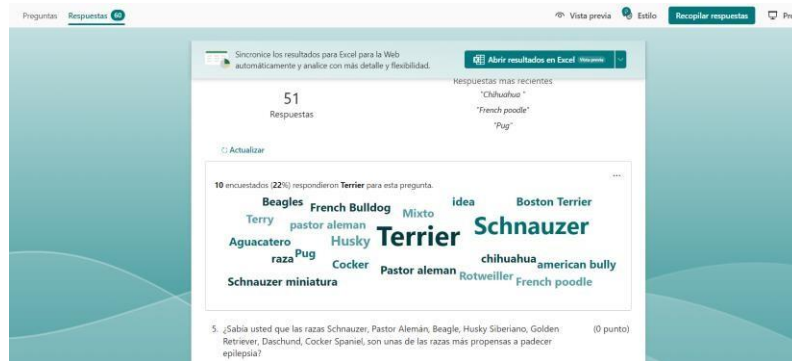


Ilustración 12 Microsoft Forms

Fuente: (Elaboración Propia)

4.4 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

La metodología de estudio seleccionada fue la metodología en V, una estructura que se caracteriza por su enfoque sistemático y secuencial en el desarrollo y validación de sistemas, particularmente aplicada en proyectos de ingeniería y tecnología (*¿Qué es el modelo V?*, 2020). La elección de la metodología en V se fundamenta en su capacidad para integrar de manera eficaz las fases de diseño, implementación y validación, facilitando una gestión ordenada y coherente del desarrollo del prototipo de monitoreo de convulsiones en la epilepsia canina.

4.4.1 NIVEL FUNCIONAL

4.4.1.1 Especificaciones de funciones

Se establecieron las funciones clave del prototipo de monitoreo de convulsiones, determinando los parámetros fisiológicos a medir y las capacidades de predicción necesarias.

4.4.1.2 Validación de funciones

Se llevaron a cabo pruebas preliminares para validar las funciones del prototipo, esto ayudó a asegurar la precisión en la medición de los parámetros fisiológicos.

4.4.1.3 Requisitos técnicos

Se establecieron los requisitos del prototipo: contar con un sensor de frecuencia cardiaca, un sensor de temperatura, estos sensores deben integrarse a un sistema Arduino o similar, programado para recopilar y procesar datos del can, y contar con una fuente de poder de alta duración. Además, el prototipo debe ser capaz de comunicarse mediante bluetooth con el dispositivo receptor, el cual debe contar con una alarma que se activa al momento de detectar una convulsión.

4.4.2 NIVEL DEL SISTEMA

4.4.2.1 Especificación del sistema

Se detallaron los requisitos mínimos del prototipo en la sección 4.4.1.3 y el método de ensamblaje del sistema de monitoreo de convulsiones, y se verificó la conectividad con Arduino y los demás componentes como los sensores.

4.4.2.2. Validación del sistema

Se realizaron pruebas de funcionamiento del sistema para confirmar que cumple con los requisitos establecidos en la sección 4.4.1.3, verificando su capacidad para medir los parámetros fisiológicos y su capacidad para detectar convulsiones de manera efectiva.

4.4.3 NIVEL DEL SUBSISTEMA

4.4.3.1 Definición de los subsistemas

Se identificaron y definieron subsistemas esenciales, tales como el módulo de adquisición de datos y el procesamiento de datos. En este caso se identificó el microcontrolador Arduino Nano como el más adecuado junto con la aplicación para programar dispositivos Arduino IDE.

4.4.3.2 Validación del subsistema

Cada subsistema fue sometido a pruebas individuales para confirmar su funcionamiento adecuado y la eficacia de la interacción entre ellos al momento de ensamblar todo el prototipo.

4.4.4 NIVEL DE COMPONENTES

4.4.4.1 Definición de componentes

Se seleccionaron cuidadosamente los componentes clave del dispositivo, como sensores de frecuencia cardíaca, temperatura, acelerómetro, el microcontrolador Arduino y un banco de baterías LiPo como fuente de energía portátil.

4.4.4.2 Validación de componentes

Se realizaron pruebas específicas para validar la eficiencia y precisión de cada sensor individual, así como la fuente de poder y el microcontrolador, asegurando su idoneidad para el monitoreo de convulsiones en perros.

4.4.5 DESARROLLO DEL PROTOTIPO DE MONITOREO DE CONVULSIONES

Este nivel representa la fase culminante del desarrollo, donde todos los componentes, subsistemas y funciones se integran para crear el prototipo completo de monitoreo de convulsiones en perros. Durante esta etapa, se llevaron a cabo pruebas, ajustes y refinamientos para garantizar la efectividad y confiabilidad del prototipo.

Durante el proceso de integración, cada componente y subsistema previamente validado se ensambló para formar una unidad funcional. Se prestó especial atención a la interacción entre los diferentes componentes, garantizando una sinergia adecuada y un funcionamiento armonioso del prototipo.

Los ajustes y refinamientos se llevaron a cabo en respuesta a los resultados de las pruebas, abordando posibles deficiencias y perfeccionando las características ergonómicas del prototipo.

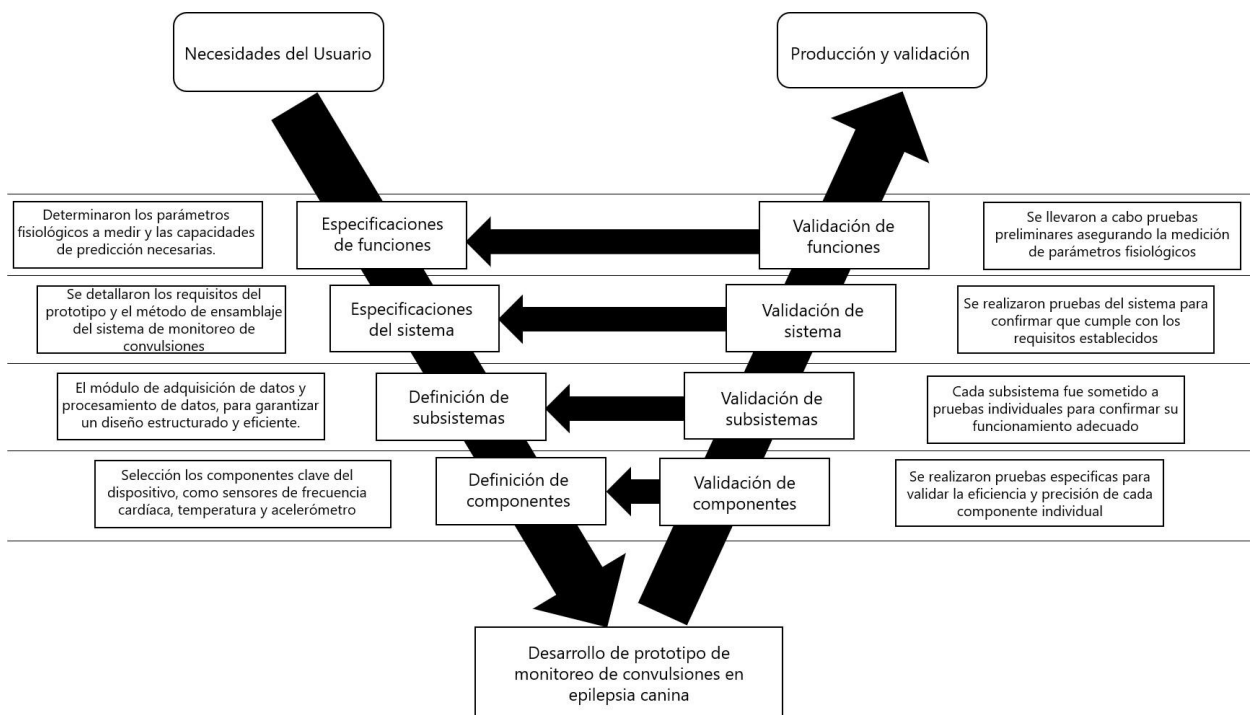


Ilustración 13 Diagrama Metodología en V

Fuente: (Elaboración Propia)

4.5 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN

La metodología de validación que se utilizó para mostrar la validez de esta investigación fue mediante consulta con expertos y recopilación y análisis estadístico de los datos obtenidos al hacer pruebas con el prototipo en el mundo real.

En primer lugar, se buscó la opinión de expertos, como lo son 8 médicos veterinarios, quienes aportaron su experiencia y conocimiento para evaluar la viabilidad clínica del prototipo.

A través de encuestas bien estructuradas se recopiló información valiosa sobre la relevancia de datos que se recopilaron con el prototipo y la utilidad práctica del este en el entorno doméstico.

En segundo lugar, se llevaron a cabo pruebas del prototipo en el mundo real. Estas pruebas se realizaron en el entorno doméstico, durante estas pruebas, se registraron datos detallados, incluyendo la duración de las convulsiones. La recopilación de datos fue seguida por un análisis estadístico para evaluar la sensibilidad y especificidad del dispositivo.

4.6 CRONOGRAMA

En esta sección se especifica el cronograma de las actividades realizadas en la investigación a lo largo de diez semanas.



Ilustración 14 Cronograma

Fuente: (Elaboración propia)

4.7 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 2 Operacionalización de variables

Objetivos	Variables	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
General	Dependiente			
Desarrollar un prototipo para el monitoreo de convulsiones en el entorno doméstico, con sensores específicos que permitan la recopilación de datos durante eventos convulsivos, mejorando el cuidado de perros con epilepsia.	Diseño del prototipo de un dispositivo para detectar las convulsiones en perros.	Desarrollar un prototipo de un dispositivo que permita detectar convulsiones en perros con anticipación.	Selección de sensores y su colocación durante el ensamblaje.	Dispositivo funcional terminado con todos sus componentes.
Específicos	Independientes	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
Colaborar con veterinarios para realizar un levantamiento de datos sobre los parámetros específicos durante eventos convulsivos en perros con epilepsia.	Anatomía y fisiología canina	Estructura física de los perros y sus sistemas, funciones biológicas y procesos metabólicos	Propiedades anatómicas de los caninos	Conocer de los parámetros clave en eventos convulsivos con ayuda de participación de veterinarios
Seleccionar sensores y programar algoritmos que analicen los datos recopilados por los sensores para detectar patrones indicativos de convulsiones.	Características de los componentes	Evaluar las capacidades de los diferentes componentes disponibles para escoger el más apropiado.	Tiempo de respuesta, sensibilidad de detección	Costo y disponibilidad de los sensores
Evaluar factores que puedan influenciar la aceptación del prototipo en el entorno doméstico por parte de los dueños, considerando aspectos de usabilidad, comodidad y facilidad de integración en la rutina diaria.	Parámetros ergonómicos	Diseñar un dispositivo que sea cómodo y no afecte la vida cotidiana del perro	Facilidad de configuración y operación del dispositivo	Integración del dispositivo en la vida de la mascota y los dueños, impacto en la salud del perro

Continuación Operacionalización de variables

Específicos	Independientes	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
Desarrollar un dispositivo para detección de convulsiones con sensores y controladores de bajo costo	Presupuesto	Utilizar sensores y controladores de bajo costo para desarrollar un dispositivo accesible al público general.	Costo, disponibilidad de los componentes, funcionalidad del dispositivo	Comparación de costo con otros dispositivos similares disponibles
Establecer un método de ensamblaje eficiente y preciso para la fabricación del dispositivo de detección de convulsiones	Método de ensamblaje	Escoger la colocación óptima de los sensores en el dispositivo para obtener resultados precisos y sin interferencias	Evaluación de posibles problemas durante el ensamblaje y las soluciones que se implementan	Efectividad del dispositivo ensamblado, tiempo necesario para el ensamblaje

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 3 Matriz Metodológica

Título	Problema de investigación	Preguntas de investigación	Objetivos	Variables	Metodología y herramientas
Diseño y Prototipado de Dispositivo para Monitoreo de Convulsiones en Epilepsia Canina	La epilepsia canina es una de las patologías cerebrales más comunes en perros, afectando aproximadamente al 0.75% de ellos. Las convulsiones recurrentes que caracterizan esta enfermedad, hacen que tanto los perros como los dueños de ellos, sufran de inquietud constante lo cual afecta su calidad de vida. Por este motivo es clave contar con un método confiable de detección de convulsiones.	General	General	Dependiente	
		¿Cómo desarrollar un prototipo de un dispositivo para detectar convulsiones en perros que sufren de epilepsia canina?	Desarrollar un prototipo para el monitoreo de convulsiones en el entorno doméstico, con sensores específicos que permitan la recopilación de datos durante eventos convulsivos, mejorando el cuidado de perros con epilepsia.	Diseño del prototipo de un dispositivo para detectar las convulsiones en perros.	Arduino IDE Ensamblaje del Prototipo Sensor de frecuencia Sensor de temperatura
		Específicas	Específicos	Independientes	
		¿Qué parámetros fisiológicos se pueden medir para detectar convulsiones?	Colaborar con veterinarios para realizar un levantamiento de datos sobre los parámetros específicos durante eventos convulsivos en perros con epilepsia.	Anatomía y fisiología canina	Acelerómetro Arduino nano Fuente de poder
		¿Cuáles son los mejores sensores para medir estos parámetros?	Establecer un método de ensamblaje eficiente y preciso para la fabricación del dispositivo de detección de convulsiones	Método de ensamblaje	
		¿Es posible realizar un dispositivo para detección de convulsiones que sea eficaz y accesible al público general?	Seleccionar sensores y programar algoritmos que analicen los datos recopilados por los sensores para detectar patrones indicativos de convulsiones.	Características de los componentes	

Continuación Matriz Metodológica

Específicas	Específicos	Independientes
¿Cuáles son los factores clave que influyen en la aceptación de prototipos destinados al entorno doméstico por parte de los dueños de mascotas	Evaluar factores que puedan influenciar la aceptación del prototipo en el entorno doméstico por parte de los dueños, considerando aspectos de usabilidad, comodidad y facilidad de integración en la rutina diaria.	Parámetros ergonómicos
¿Cómo podría optimizarse la eficacia y accesibilidad de un dispositivo de detección de convulsiones?	Desarrollar un dispositivo para detección de convulsiones con sensores y controladores de bajo costo	Presupuesto

Fuente: (Elaboración propia)

V. RESULTADOS

En este apartado se presentan y analizan los resultados obtenidos durante el curso de la investigación.

VALIDACIÓN ENCUESTAS VETERINARIOS

Se les realizó una encuesta a los veterinarios para conocer más acerca de las razas de canes que son más propensas a padecer epilepsia y los parámetros fisiológicos que se ven alterados durante los eventos convulsivos y poder realizar un contraste con lo encontrado en las revisiones bibliográficas de esta investigación.

Frecuencia con la que se observan casos de epilepsia

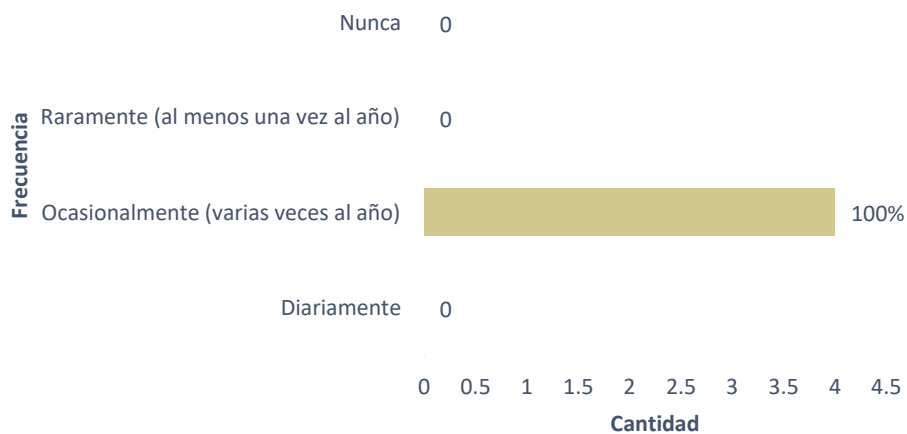


Ilustración 15 Frecuencia con la que se observan casos de epilepsia

Fuente: (Elaboración Propia)

Al indagar sobre la frecuencia con la que los veterinarios encuentran casos de epilepsia en canes en su práctica diaria, se observa que el 100% de los veterinarios encuentran ocasionalmente casos de epilepsia canina, subrayando que, aunque no es una ocurrencia diaria, la epilepsia canina es reconocida y tratada con cierta regularidad.

Razas más propensas a padecer epilepsia

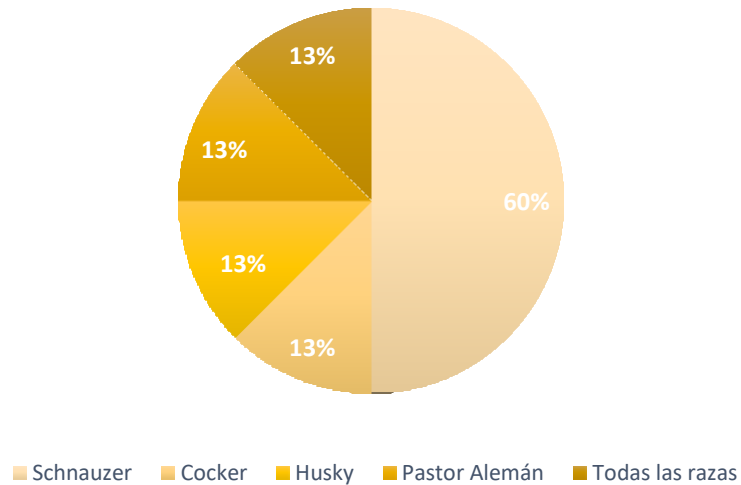


Ilustración 16 Razas más propensas a padecer epilepsia

Fuente: (Elaboración Propia)

Los veterinarios fueron consultados sobre su percepción acerca de la propensión de ciertas razas de perros a desarrollar epilepsia. El 60% de los profesionales identificaron a la raza schnauzer como la más propensa a padecer esta condición. En contraste, el 13% de los veterinarios expresaron la creencia de que todas las razas pueden ser igualmente propensas a padecer epilepsia. Además, un 13% de los veterinarios indicaron que la raza cocker, otro 13% mencionó la raza husky, y finalmente, otro 13% manifestó que la raza de pastor alemán es igualmente propensa a padecer epilepsia. Estas percepciones brindan una visión variada sobre la predisposición a la epilepsia en diferentes razas caninas según la opinión de los profesionales veterinarios encuestados.

Principales parámetros fisiológicos para monitorear

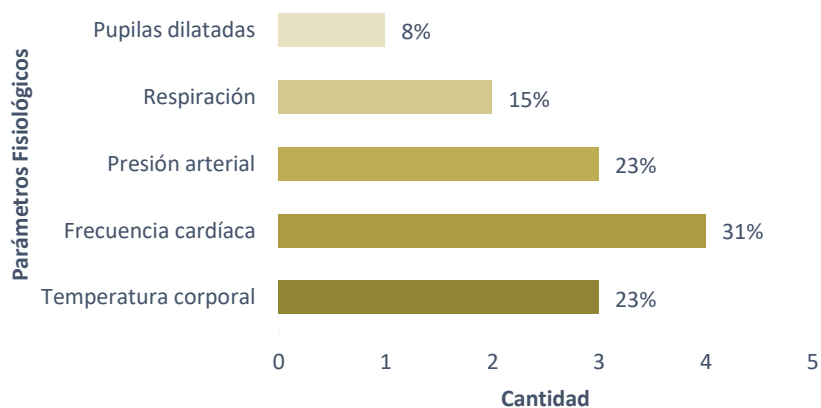


Ilustración 17 Principales parámetros fisiológicos para monitorear

Fuente: (Elaboración Propia)

Los veterinarios fueron consultados acerca de los parámetros fisiológicos que consideran esenciales para vigilar durante eventos convulsivos en canes, y se manifestó una diversidad de perspectivas. El 23% de los veterinarios identificaron tanto la temperatura corporal como la presión arterial como aspectos clave. En contraste, un destacado 31% de los profesionales resaltaron la importancia de monitorear tanto la frecuencia cardíaca como la presión arterial durante episodios convulsivos. Estas variadas perspectivas subrayan la flexibilidad en las prioridades de monitoreo, reflejando la experiencia y enfoque distintos de los veterinarios encuestados.

Todos los veterinarios participantes en la encuesta concordaron que la información acerca de la frecuencia y duración de las convulsiones es esencial para la gestión de casos de epilepsia canina. Sus justificaciones resaltan la importancia de esta información para ajustar de manera precisa el tratamiento, proporcionando pistas valiosas y sirviendo como base para evaluar la efectividad de las intervenciones terapéuticas.

La totalidad de los veterinarios encuestados expresaron la importancia de la monitorización continua de parámetros fisiológicos durante los eventos convulsivos. Sus justificaciones destacan la necesidad de este enfoque para diferenciar episodios epileptiformes

causados por situaciones distintas a la epilepsia. Además, la monitorización continua se percibe como esencial para diferenciar y adaptar tratamientos de acuerdo con las características específicas de cada episodio.

Los veterinarios identificaron varios beneficios claves asociados con la recopilación continua de datos en el tratamiento y seguimiento de la epilepsia canina. En primer lugar, destacaron la posibilidad de medir los episodios durante el tratamiento, proporcionando su evaluación cuantitativa de la respuesta terapéutica. Además de tener una idea anticipada de cuando se presentarán episodios convulsivos, permitiendo una intervención temprana.

La recopilación continua de datos también se percibe como una herramienta esencial para obtener una comprensión detallada de los patrones de las convulsiones, lo que puede ser fundamental para personalizar los tratamientos.

Seguidamente, el 100% de los veterinarios concordaron en que un dispositivo de monitoreo de convulsiones sería beneficioso para la gestión de epilepsia canina. Argumentaron que este dispositivo sería esencial debido a situaciones en las cuales los eventos convulsivos pueden pasar desapercibidos, ya sea por falta de reconocimiento o incapacidad de los dueños de monitorear a sus mascotas las 24 horas.

Por último, Los veterinarios fueron consultados sobre si el dispositivo de monitoreo de convulsiones podría complementar o mejorar los métodos actuales de diagnóstico y tratamiento, y todos expresaron su afirmación, proporcionando diversas justificaciones. Entre ellas se destaca la ausencia de sistemas de monitoreo actualmente disponibles, lo que resalta la necesidad de una herramienta que permita un seguimiento continuo del animal.

Además, señalaron que el dispositivo sería una herramienta adicional valiosa en el manejo de la epilepsia canina, ofreciendo vigilancia constante y oportunidades para una combinación efectiva de educación a los propietarios, enfoques no farmacológicos, terapias farmacológicas y seguimientos especializados. Algunos veterinarios también sugirieron que tecnologías más

avanzadas, como el electroencefalograma, podrían agregar un valor significativo, aunque reconocieron la importancia de considerar la viabilidad económica en el mercado de mascotas.

En conjunto, estas respuestas subrayan la receptividad de los profesionales veterinarios hacia la integración de tecnologías de monitoreo para mejorar la atención a animales con epilepsia.

VALIDACIÓN ENCUESTAS DUEÑOS

Seguidamente, se llevó a cabo una encuesta dirigida a los propietarios de perros con el objetivo de identificar cuál es la raza más popular y evaluar el nivel de aceptación del prototipo de monitoreo de convulsiones.

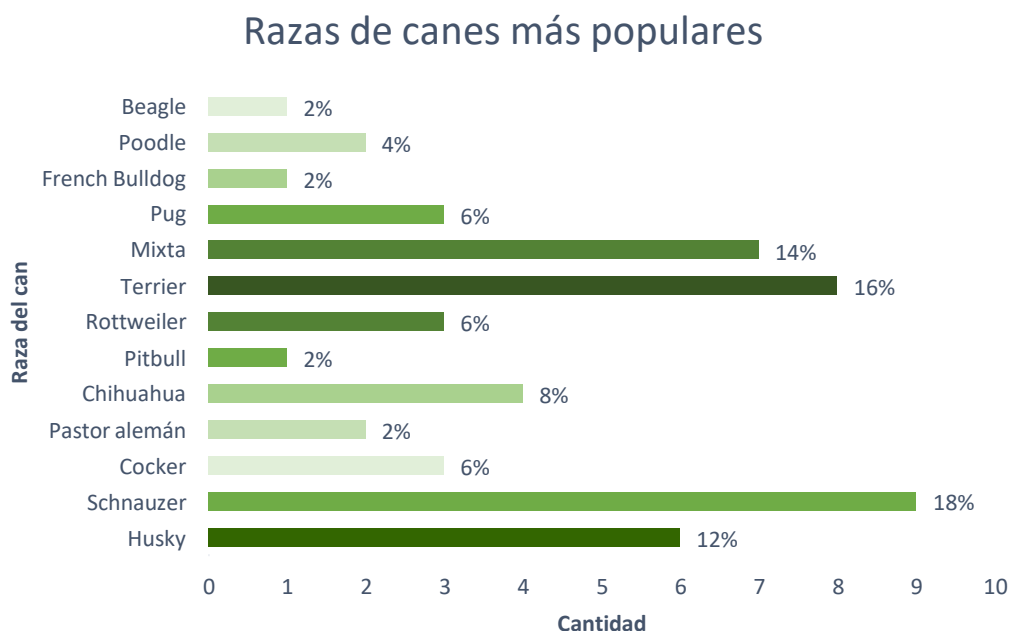


Ilustración 18 Razas de canes más populares

Fuente: (Elaboración Propia)

Dentro de la encuesta realizada a los propietarios de perros, se incluyó una pregunta sobre la raza de sus mascotas, y las respuestas proporcionaron un panorama diverso de la muestra. Los resultados indicaron que el 18% de los participantes tiene Schnauzer, el 6% Cocker, el 2% Pastor Alemán, el 8% Chihuahua, el 2% Pitbull, el 6% Rottweiler, el 16% Terrier, el 14% posee perros de raza mixta, el 6% Pug, el 2% French Bulldog, el 4% Poodle, el 12% Husky, y el 2% Beagle.

Estas cifras reflejan una representación variada y amplia de las distintas razas de perros presentes en la muestra encuestada.

Canes que han experimentado convulsiones

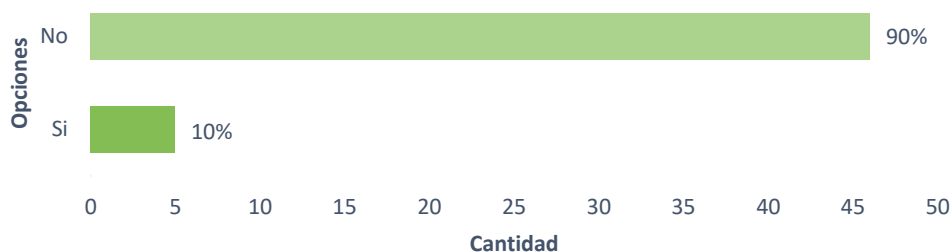


Ilustración 19 Canes han experimentado convulsiones

Fuente: (Elaboración Propia)

Entre los participantes encuestados, el 10% de los dueños informaron que sus mascotas han experimentado convulsiones en algún momento. En contraste, el 90% restante indicó que sus mascotas no han experimentado convulsiones. Esta proporción de canes afectados subraya la significativa relevancia y necesidad de un sistema de monitoreo de convulsiones.

La presencia de un porcentaje notable de animales que han experimentado este tipo de episodios destaca la importancia de contar con herramientas y tecnologías que faciliten la detección y seguimiento de estas condiciones de manera efectiva.

Método de monitoreo que utilizan

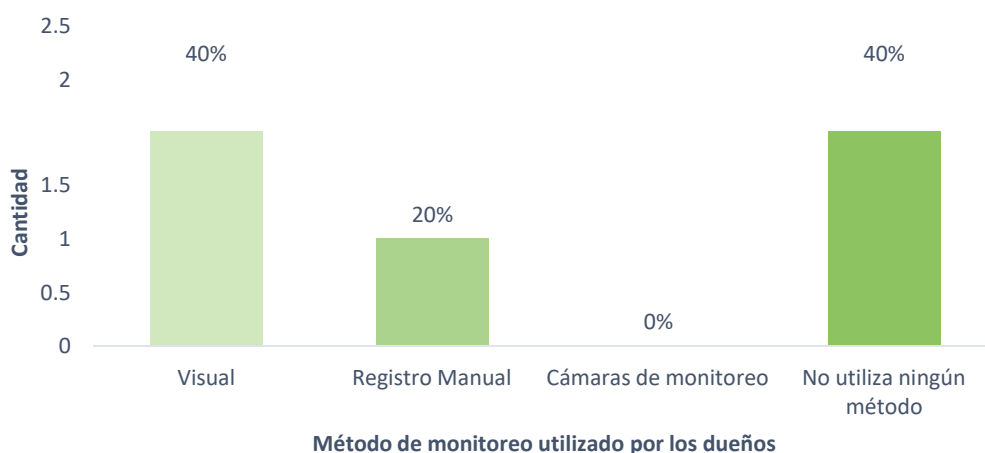


Ilustración 20 Método de monitoreo de convulsiones utilizado por los dueños

Fuente: (Elaboración Propia)

Dentro del grupo de dueños cuyas mascotas han experimentado convulsiones, se investigaron los métodos empleados para monitorear estos episodios. El 40% de los participantes optó por el monitoreo visual, mientras que el 20% utilizó un registro manual, es decir, anotaba manualmente cuando su mascota experimentaba un evento convulsivo. Ningún participante empleó cámaras para el monitoreo, y un 40% informó que no utilizaba ningún método de monitoreo en absoluto.

Estos resultados resaltan la variedad de enfoques utilizados por los dueños para observar y documentar los episodios convulsivos de sus mascotas, así como la presencia de un segmento significativo que aún no emplea métodos específicos de monitoreo.

Tratamiento o medidas

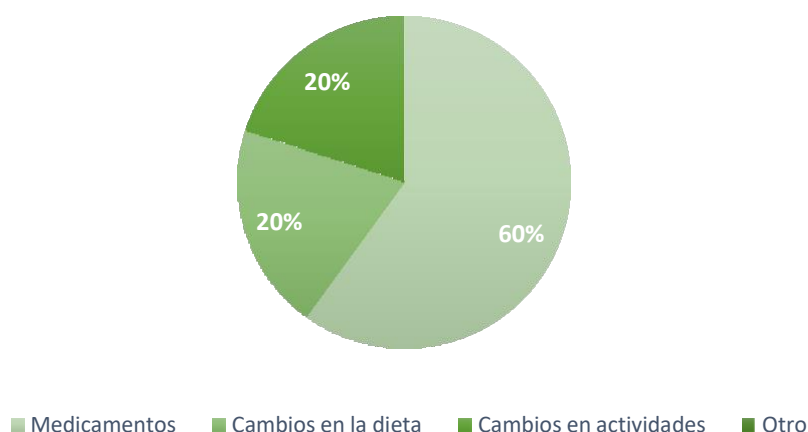


Ilustración 21 Tratamiento o medidas para gestionar las convulsiones de su mascota

Fuente: (Elaboración Propia)

Al explorar las medidas y tratamientos adoptados por los dueños para gestionar las convulsiones de sus mascotas, se obtuvieron respuestas diversas. El 60% de los participantes recurre al uso de medicamentos como parte de su enfoque de tratamiento. Por otro lado, el 20% de los dueños implementa cambios en la dieta como medida para abordar las convulsiones, mientras que otro 20% ajusta las actividades diarias de su can como parte de su estrategia de manejo de estas crisis.

Estos resultados reflejan la variedad de enfoques adoptados por los propietarios para abordar las convulsiones en sus mascotas, mostrando la diversidad de métodos utilizados en la gestión de esta condición.

Características que consideran importantes en el prototipo

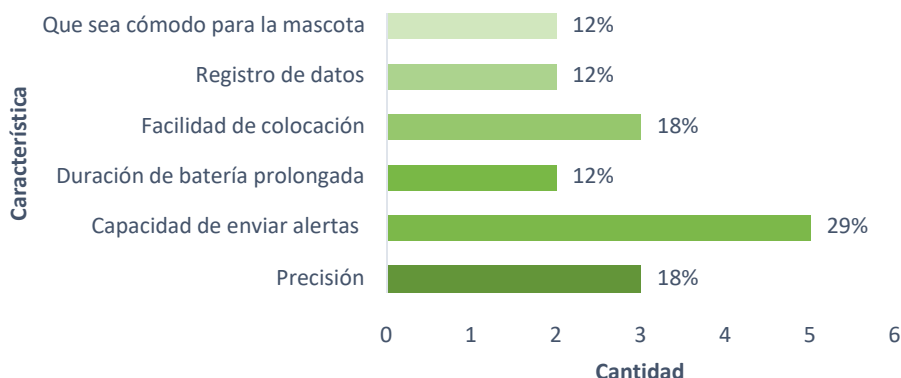


Ilustración 22 Características del prototipo que los propietarios consideran importantes

Fuente: (Elaboración Propia)

Se les consultó a los dueños acerca de las características deseadas para el prototipo de monitoreo de convulsiones, se destacaron diversas propiedades. Un 29% de los participantes enfatizó la importancia de la precisión en el monitoreo, mientras que un 18% expresó interés en la capacidad del prototipo para enviar alertas durante eventos convulsivos. La duración de la batería fue una prioridad para el 12% de los participantes, mientras que un 18% valoró la facilidad de colocación del prototipo. Además, un 12% destacó la importancia de la comodidad del prototipo para sus mascotas, así como la facilidad en el registro de datos.

Estos resultados reflejan las diversas expectativas y prioridades de los dueños en cuanto a las características clave que esperan de un dispositivo de monitoreo de convulsiones para sus mascotas.

CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

En esta sección se abordan los resultados obtenidos del diseño y desarrollo del prototipo de monitoreo de convulsiones.

5.1 VALIDACIÓN DE COMPONENTES DEL PROTOTIPO

5.1.1 Realización de encuestas a los veterinarios

Antes de comenzar a realizar el prototipo se realizaron encuestas a 8 diferentes veterinarios para poder aprender más acerca de que parámetros fisiológicos se ven afectados durante un evento convulsivo. Así mismo, esto ayudó a saber que sensores podían ser utilizados para medir estos parámetros. También se tuvo que considerar la complejidad para medir estos parámetros ya que algunos de ellos, como la presión arterial, requieren de sensores invasivos lo cual dificulta la toma de las mediciones.

5.1.2 Consultas bibliográficas

Se llevó a cabo una revisión bibliográfica en bases de datos como Pubmed, leee, ScienceDirect, para identificar parámetros fisiológicos asociados al monitoreo de convulsiones en canes. La revisión se basó en una amplia gama de artículos e investigaciones pertinentes, permitiendo así establecer una base fundamentada en la literatura existente. Para complementar y contextualizar la información recopilada, se consideraron las respuestas de las encuestas a veterinarios.

5.1.3 Selección de los componentes

Tomando en cuenta los resultados de las encuestas y de las consultas bibliográficas, se decidió utilizar un sensor de pulso óptico y un sensor de temperatura infrarrojo

5.1.3.1 Sensor de Ritmo Cardíaco "XD-58C"

Para el sensor de pulso se escogió el sensor "XD-58C" el cual es un conjunto de un sensor óptico para medir el ritmo cardíaco junto con un circuito de amplificación y filtro R/C para la eliminación de ruido e interferencias. Este sensor fue una buena opción debido a sus características como el ser no-invasivo, su capacidad de tomar mediciones en tiempo real lo cual

permite detectar cualquier cambio anormal de forma inmediata. Otra característica de beneficio de este sensor es su alta sensibilidad que le permite detectar cambios sutiles en el ritmo cardiaco lo cual es necesario para enviar la señal que activa la alarma del dispositivo.

5.1.3.2 Sensor de Temperatura Infrarrojo "MLX90615"

Para medir la temperatura se escogió un sensor de temperatura infrarrojo "**MLX90615**". Este sensor puede medir la temperatura en la superficie de un objeto sin contacto midiendo la radiación infrarroja que emiten los objetos. De igual forma este dispositivo puede medir la temperatura del ambiente al mismo tiempo que la de un objeto, lo cual permite distinguir los cambios de temperatura en el ambiente de los del perro. Se escogió este sensor debido a su capacidad de medir temperatura

5.1.3.3 Arduino UNO y Arduino Nano

Para los microcontroladores encargados de recoger las señales medidas y mostrarlas en una pantalla y activar la alarma se escogieron los microcontroladores Arduino UNO y Nano respectivamente. Para el dispositivo se escogió el UNO debido a su mayor número de pines ya que este iba a controlar ambos sensores y el módulo bluetooth para transmitir la señal.

Para el dispositivo que iba a recibir y mostrar los datos se escogió un Arduino Nano ya que este no controlaría ningún sensor, solamente el receptor del módulo bluetooth, la pantalla LCD para mostrar los datos y el buzzer que se activaría al detectar una convulsión.

5.1.3.4 Pantalla LCD I2C y buzzer

Para el módulo receptor se escogió una pantalla LCD con interfaz I2C para facilitar su conexión con el Arduino, y un buzzer activo de 5v que se activa al recibir una señal "HIGH" del Arduino

5.1.3.5 Baterías LiPo, BMS y convertidor DC Boost

Para la fuente de alimentación se utilizaron 3 baterías de litio tipo LiPo o "Lithium Polymer" estas se ajustaban a nuestras necesidades debido a su capacidad de duración y tamaño compacto. Se escogieron dos baterías de 600 mAh y una de 2000 mAh. Junto con estas se utilizó un Battery

Management System (BMS) o sistema de gestión de baterías "TP4056". Este se encarga de la carga y la protección de las baterías en cuanto a sobrecarga, sobre descarga y sobre corriente. Junto a este módulo también se utilizó el módulo "MT3608" Boost el cual se encarga de elevar y mantener regulados los 3.7 voltios nominales de las baterías a un voltaje que pueda ser utilizado por los Arduino.

5.2 DESARROLLO DEL PROTOTIPO

El proceso de desarrollo del prototipo de monitoreo de convulsiones se llevó a cabo siguiendo un enfoque meticuloso y orientado a los parámetros previamente identificados en la fase de revisión bibliográfica y consultas a veterinarios.

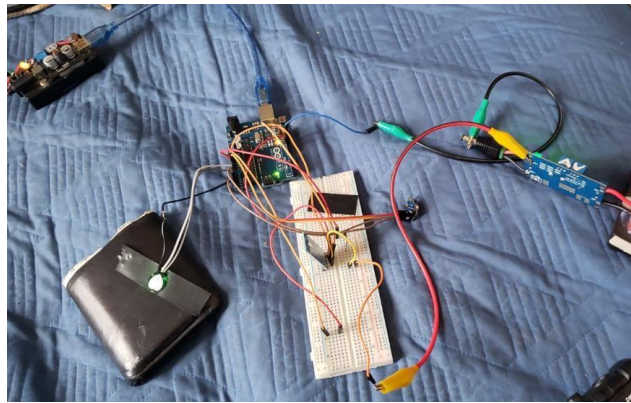


Ilustración 23 Prueba del sistema en Protoboard

Fuente: (Elaboración Propia)

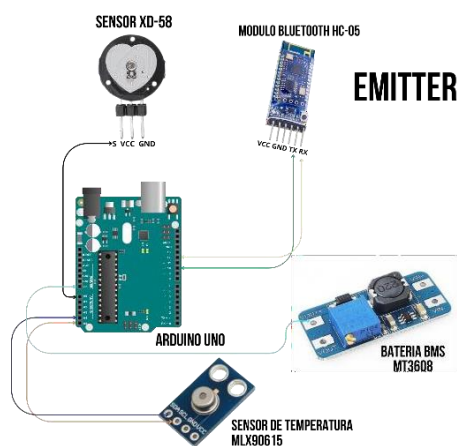


Ilustración 24 Diagrama de conexiones emisor

Fuente: (Elaboración Propia)

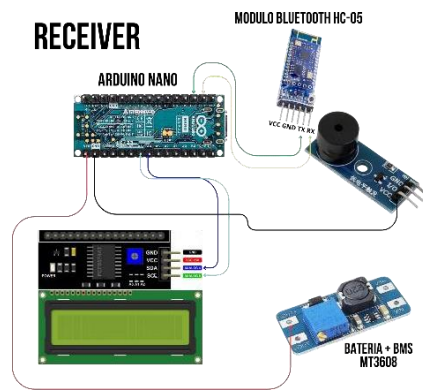


Ilustración 25 Diagrama conexiones Receptor

Fuente: (Elaboración Propia)

En la fase inicial del desarrollo, los circuitos fueron ensamblados y probados en una protoboard para verificar la funcionalidad armoniosa de todos los componentes. Esta etapa permitió la interconexión precisa y la operación eficiente de los elementos electrónicos antes de avanzar al siguiente nivel.



Ilustración 26 Comparativa de datos entre oxímetro de pulso y sistema del prototipo

Fuente: (Elaboración Propia)

Con el objetivo de evaluar la precisión y confiabilidad del sistema implementado en el prototipo, se llevaron a cabo pruebas comparativas utilizando instrumentos de referencia estándar. Específicamente, se compararon los datos de frecuencia cardiaca obtenidos por el sistema del prototipo con aquellos registrados simultáneamente por un oxímetro de pulso.



Ilustración 27 Comparativa datos de termómetro y datos del sistema del prototipo

Fuente: (Elaboración Propia)

Asimismo, se evaluaron las mediciones de temperatura del prototipo comparándolas con las proporcionadas por un termómetro. Este enfoque de validación permitió una evaluación de la concordancia entre los datos generados por el prototipo y los instrumentos de referencia, proporcionando una sólida base para la afirmación de la precisión en la medición de frecuencia cardíaca y temperatura por parte del sistema desarrollado.

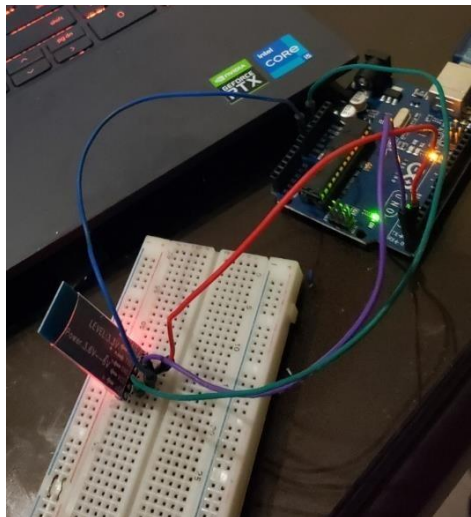


Ilustración 28 Conexión módulos bluetooth

Fuente: (Elaboración Propia)

De igual forma, se realizó la conexión de los módulos bluetooth "HC-05". Para esto se utilizaron los comandos AT para programar uno de los módulos como "Esclavo" y el otro como "Maestro". En este circuito, el esclavo es el que está conectado al dispositivo emisor en el canal que

recoge los datos de los parámetros fisiológicos del perro y los transmite y el módulo maestro es el que está en el receptor y recibe los datos enviados para mostrarlos en la LCD.



Ilustración 29 Sistema ensamblado en la pechera

Fuente: (Elaboración Propia)



Ilustración 30 Sistema ensamblado en la pechera

Fuente: (Elaboración Propia)

Posteriormente, se ensambló la pechera, durante esta fase se realizaron ajustes estéticos con el objetivo de lograr una integración visual y ergonómica óptima. Se prestó especial atención en detalles como el peso, la forma y distribución de los componentes en la pechera, buscando garantizar tanto la funcionalidad como la comodidad del prototipo.



Ilustración 31 Prototipo colocado en el can

Fuente: (Elaboración Propia)

Con el objetivo de garantizar el bienestar y la comodidad del canino durante los monitoreos, se probó el prototipo antes de los monitoreos. La prioridad fue asegurar que el prototipo no interfiriera con sus movimientos naturales y permitiera al canino llevar a cabo sus actividades cotidianas sin limitaciones, facilitando así un monitoreo preciso y respetuoso del animal durante todo el estudio.

Se tomó en cuenta la variable de la anatomía canina, destacando especialmente el tamaño de la pechera como elemento central del diseño. La consideración se ha dirigido a garantizar un ajuste óptimo que respete las diferencias de tamaño de las razas, y para para la distribución de los componentes estructurales de manera que no generaran molestias innecesarias al can.

Este enfoque no solo se centró en la comodidad, sino también en la distribución estratégica de los componentes de la pechera, asegurando que estén ubicados de manera que no generen incomodidades durante el uso. De esta manera, se buscó no solo adaptarse a la anatomía canina, sino también proporcionar una experiencia cómoda y segura para el can durante el uso del prototipo.



Ilustración 32 Dispositivo Receptor

Fuente: (Elaboración Propia)

De igual forma, el dispositivo receptor fue ensamblado, encargándose de recibir los datos captados por los sensores y presentar la información en tiempo real al propietario de la mascota. Esto permite que el dueño esté constantemente informado sobre los parámetros de su mascota. Además, el dispositivo tiene la función de activar una alarma sonora en caso de detectar que el can está experimentando un episodio convulsivo.

Tabla 4 Presupuesto del Prototipo

Componente	Cantidad	Precio
Sensor de temperatura infrarrojo MLX90615	1	L 350.00
Interruptor DPST	2	L 30.00
Estaño Baku 100g	1	L 210.00
Arduino Nano CH340G	1	L 300.00
Tarjeta de desarrollo UNO R3 ATmega328	2	L 1,040.00
Módulo Bluetooth HC-05	2	L 640.00
Pantalla LCD 20x4 con interfaz I2C	1	L 352.00
Cable de cuatro líneas	2	L 80.00
Cargador de batería BMS USB-C TP4056 1A	3	L 255.00
Estabilizador/regulador ascendente de voltaje DC-DC MT3608 Boost 1A	3	L 240.00
Batería tipo LIPO recargable 3.7V 600mAh	2	L 600.00
Caja plástica impermeable	1	L 210.00
Puerto USB-C 3.1 para PCB Hembra/Macho	2	L 190.00
Conector impermeable de 4 pines hembra-macho	1	L 94.00
Sensor de pulso ritmo cardíaco	1	L 180.00
Batería tipo LIPO recargable 3.7V 2000mAh	1	L 380.00
Arnés de perro tipo pechera	1	L 100.00

Sensor de pulso ritmo cardíaco	1	L 200.00
	Total	L 5,481.00

La tabla de presupuesto proporcionada muestra un desglose de los costos asociados a los materiales utilizados en la construcción del prototipo. Cada elemento necesario para la creación y montaje del prototipo ha sido identificado y cuantificado, proporcionando una visión detallada de la asignación de recursos financieros.

Siendo un prototipo, se evidencia que los costos son significativos debido a la naturaleza del proceso, que implica prueba y error. Hubo algunas limitaciones notables en los sensores de ritmo cardíaco inicialmente seleccionados, lo que llevó a la necesidad de adquirir otro sensor para obtener mediciones más precisas. A lo largo del montaje del prototipo, se añadieron componentes para garantizar su funcionalidad adecuada y el logro de los objetivos establecidos.

A pesar de la presencia de algunos dispositivos similares, la mayoría no ha superado la fase de prueba. Aquellos que están disponibles en el mercado son escasos y suelen tener un precio cercano a los \$300, equivalente a L. 7,413. Este costo es comparable al del prototipo presentado en este proyecto de investigación. Sin embargo, en contraste con otros dispositivos disponibles que se centran más en el monitoreo de los signos vitales, el prototipo tiene la capacidad de enviar alertas al momento de detectar una convulsión y llevar un registro preciso de la cantidad de convulsiones detectadas a lo largo del día.

El potencial competitivo del prototipo radica en su enfoque singular en comparación con los dispositivos convencionales del mercado. Mientras que la mayoría de los dispositivos se concentran en monitorear signos vitales generales, como la frecuencia cardíaca y la respiración, nuestro prototipo se distingue al dirigir su atención específicamente a una enfermedad particular, en este caso, la epilepsia. Esta orientación especializada permite un monitoreo más preciso y centrado, ofreciendo una solución más adaptada a las necesidades de quienes enfrentan esta condición médica.

5.3 Programación del prototipo final

En esta sección se desglosa la programación del prototipo de monitoreo de convulsiones, el cual es una combinación de partes de autoría propia y códigos de fuentes de apoyo.

5.3.1 Código del Dispositivo Emisor

```
#include <Adafruit_MLX90614.h>
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial BTSerial(10, 12); // RX, TX pins
Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();
int pulsePin = A0;
int blinkPin = 13;

volatile int BPM;
volatile int Signal;
volatile int IBI = 600;
volatile boolean Pulse = false;
volatile boolean QS = false;

static boolean serialVisual = true;

volatile int rate[10];
volatile unsigned long sampleCounter = 0;
volatile unsigned long lastBeatTime = 0;
volatile int P = 512;
volatile int T = 512;
volatile int thresh = 525;
volatile int amp = 100;
volatile boolean firstBeat = true;
volatile boolean secondBeat = false;
unsigned long highBPMStartTime = 0;
unsigned long buzzerActivationDuration = 10000;
```

Ilustración 33 Primera parte código dispositivo emisor

Fuente: (Elaboración Propia)

En esta primera parte del código se comienza incluyendo las librerías necesarias que en este caso son las del sensor de temperatura y la librería Software Serial, esta segunda librería es utilizada para simular los pines de Rx y Tx del Arduino en los pines digitales. Luego, se definieron los objetos y variables, el objeto "BTSerial" contiene los pines digitales que serán usados para simular la comunicación serial que en este caso fueron los pines 10 y 12. Igualmente se declaró el

objeto "mlx" que sería utilizado para el sensor de temperatura. Se definió la variable "pulsePin" para el sensor cardiaco y "blinkPin" para que la LED del Arduino parpadea al ritmo del latido.

En la siguiente parte se definen las variables volátiles que se utilizan en la rutina de interrupción (ISR) para realizar la medición y detección de la frecuencia cardiaca. Las variables volátiles son variables cuyo valor puede cambiar en cualquier momento y se le da a entender al compilador para que no realice ninguna acción que asuma su valor. Luego se definen las variables para el procesamiento del pulso como la amplitud, el umbral y los tiempos de valle y de pico. Finalmente se definen 2 variables que son utilizadas más adelante para la función de "millis()" la cual se utiliza en el control de la alarma al detectar una anomalía.

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  BTSerial.begin(9600); // Start the Bluetooth serial port
  // we agree to talk fast!
  while (!Serial);
  if (!mlx.begin()) {
    Serial.println("Error connecting to MLX sensor. Check wiring.");
    while (1);
  };

  interruptSetup();
}
```

Ilustración 34 Segunda parte código dispositivo emisor

Fuente: (Elaboración Propia)

En la siguiente parte del código, se inició la comunicación serial para poder ver la salida en el monitor serial de la computadora durante la etapa de prueba, así como la comunicación serial con el módulo bluetooth, ambas siendo establecidas a una velocidad de 9600 baudios.

Luego de esto, se utiliza la función "mlx.begin()" de la librería del sensor de temperatura, su propósito es intentar iniciar la comunicación con el sensor de temperatura y si esta falla, se envía un mensaje al monitor serial y se transmite por el módulo de bluetooth. Finalmente se llama

la función "interruptSetup ()" la cual fue utilizada para leer la señal del sensor de pulso cada 2 milisegundos.

```
void loop()
{
    serialOutput();

    if (QS == true)
    {
        serialOutputWhenBeatHappens();
        QS = true;
    }

    delay(20);
}

void interruptSetup()
{
    TCCR2A = 0x02;
    TCCR2B = 0x06
    OCR2A = 0X7C;
    TIMSK2 = 0x02;
    sei();
}

void serialOutput()
{
    if (serialVisual == true)
    {
        arduinoSerialMonitorVisual('-', Signal
    }
    else
    {
        sendDataToSerial('S', Signal);
    }
}

void serialOutputWhenBeatHappens()
{
    if (serialVisual == true)
    {

        Serial.print("BPM: ");
        Serial.println(BPM);
        BTSerial.println(BPM);
    }
}
```

```

float ambient=mlx.readAmbientTempC();
Serial.print("Ambient = "); Serial.print(ambient);
Serial.println("*C");
  BTSerial.println(ambient);
float temp=mlx.readObjectTempC();
Serial.print("Object = "); Serial.print(temp); Serial.println("*C");
BTSerial.println(temp);

Serial.println();
BTSerial.println();

```

Ilustración 35 Funciones principales en el código

Fuente: (Elaboración Propia)

En la siguiente sección se describen las funciones principales "loop()", "interruptSetup()" y "serialOutput()". La primera función de "loop()" es el bucle principal el cual se ejecuta constantemente mientras el microcontrolador este encendido. Dentro de este bucle se llama a la función "serialOutput" que es la encargada de decidir cuándo se muestran los datos en el monitor serial. Esta se encarga de comprobar primero que un latido haya sido encontrado y de ser así, utiliza la función "serialOutputWhenBeatHappens ()" para poder enviar los datos a ser visualizados en el monitor serial.

Dentro de la función "interruptSetup()" se configuraron las interrupciones encargadas de permitir que el microcontrolador lea los datos del sensor de pulso cada 2 milisegundos.

"TCCR2A", "TCCR2B", "OCR2A" y "TIMSK2" son registros asociados al Timer2, que se utilizan para configurar la frecuencia y el modo de operación del temporizador. Y la función "sei()" se utiliza para habilitar las interrupciones globales lo cual asegura que están habilitadas al momento de realizar el ISR.

Finalmente, se define la función "serialOutput ()" que se llamó previamente, en ella se decide cómo se debe enviar la salida por el puerto serial, ya sea en formato visual o de datos. Si "serialVisual" es verdadero, llama a la función "arduinoSerialMonitorVisual ()" para generar una visualización en el monitor serial.

Si "serialVisual" es falso, llama a la función "sendDataToSerial()" para enviar datos al puerto

serial.

```
oid serialOutputWhenBeatHappens()
{
  if (serialVisual == true)
  {

    Serial.print("BPM: ");
    Serial.println(BPM);
    BTSerial.println(BPM);
    float ambient=mlx.readAmbientTempC();
    Serial.print("Ambient = "); Serial.print(ambient);
    Serial.println("*C");
    BTSerial.println(ambient);
    float temp=mlx.readObjectTempC();
    Serial.print("Object = "); Serial.print(temp); Serial.println("*C");
    BTSerial.println(temp);

    Serial.println();
    BTSerial.println();

    if (BPM > 150 && temp > 37) {
      unsigned long currentTime = millis();
      if (currentTime - highBPMStartTime >= buzzerActivationDuration) {
        while (BPM > 140 && temp > 36) {
          Serial.println("alarm");
          BTSerial.println("alarm");
          delay(1000);
        }
      }
    } else {

      highBPMStartTime = millis();
    }

    delay(300);

  }
  else
  {
    sendDataToSerial('B',BPM);
    sendDataToSerial('Q',IBI);
  }
}

void arduinoSerialMonitorVisual(char symbol, int data )
{
  const int sensorMin = 0;
```

```

const int sensorMax = 1024;
int sensorReading = data;
int range = map(sensorReading, sensorMin, sensorMax, 0, 11);
}

void sendDataToSerial(char symbol, int data )
{
  Serial.print(symbol);
  Serial.println(data);
}

```

Ilustración 36 Gestión de salida de datos

Fuente: (Elaboración Propia)

Esta siguiente parte del código estaba encargada de gestionar la salida de datos una vez detectado un latido. Se inicia con la función "serialOutputWhenBeatHappens ()" la cual se activa al detectar un latido. Esta función comprueba que la visualización serial esté habilitada con "serialVisual == true" y si es así envía los datos de la frecuencia cardiaca guardados en la variable "BPM" al monitor serial. Luego de esto, se lee y se muestran los datos de la temperatura corporal del canino y del ambiente.

Una vez impresos los datos se utiliza una función "if" para detectar si la frecuencia cardiaca es mayor a 150 y la temperatura corporal mayor a 37 grados Celsius. Si estos parámetros se cumplen, se utiliza la función "millis ()" para comprobar que hayan pasado más de 10 segundos y de ser así se envía un mensaje de "alarma" al monitor serial y al bluetooth hasta que los parámetros bajen de 140 latidos por minuto y 36 grados Celsius.

La función "arduinoSerialMonitorVisual" se utilizó previamente dentro del "void serial Output ()" su trabajo es realizar una acción visual basada en los datos que recibe del void. Finalmente, la función "sendDataToSerial" toma un símbolo que indica el tipo de datos ('B' para frecuencia cardíaca o 'Q' para intervalo entre latidos) y el valor de los datos e imprime el símbolo seguido del valor de los datos en una nueva línea en el monitor serial de Arduino.

```

ISR(TIMER2_COMPA_vect)
{
  cli();
  Signal = analogRead(pulsePin);
  sampleCounter += 2;
  int N = sampleCounter - lastBeatTime;

```

```

if(Signal < thresh && N > (IBI/5)*3)
{
    if (Signal < T)
    {
        T = Signal;
    }
}

if(Signal > thresh && Signal > P)
{
    P = Signal;
}

if (N > 250)
{
    if ( (Signal > thresh) && (Pulse == false) && (N > (IBI/5)*3) )
    {
        Pulse = true;
        digitalWrite(blinkPin,HIGH);
        IBI = sampleCounter - lastBeatTime;
        lastBeatTime = sampleCounter;

        if(secondBeat)
        {
            secondBeat = false;
            for(int i=0; i<=9; i++)
            {
                rate[i] = IBI;
            }
        }

        if(firstBeat)
        {
            firstBeat = false;
            secondBeat = true;
            sei();
            return;
        }

        word runningTotal = 0;
    }
}

```

Ilustración 37 Parte 1 ISR

Fuente: (Elaboración Propia)

```

    for(int i=0; i<=8; i++)
    {
        rate[i] = rate[i+1];
        runningTotal += rate[i];
    }

    rate[9] = IBI;
    runningTotal += rate[9];
    runningTotal /= 10;
    BPM = 60000/runningTotal;
    QS = true;
}
}

if (Signal < thresh && Pulse == true)
{
    digitalWrite(blinkPin,LOW);
    Pulse = false;
    amp = P - T;
    thresh = amp/2 + T;
    P = thresh;
    T = thresh;
}

if (N > 2500)
{
    thresh = 512;
    P = 512;
    T = 512;
    lastBeatTime = sampleCounter;
    firstBeat = true;
    secondBeat = false;
}

sei();
}

```

Ilustración 38 Parte 2 ISR

Fuente: (Elaboración Propia)

Este fragmento del código corresponde al ISR. Esta función se ejecuta cada vez que el timer2 alcanza un valor de 124 lo cual corresponde a cada 2 milisegundos. Cuando comienza el ISR se deshabilitan las interrupciones con la función "cli()" para evitar que haya alguna interrupción adicional durante el tiempo de ejecución del ISR. Se utilizó la función "analogRead(pulsePin)" para

leer el valor del sensor de pulso y guardarlo en la variable "Signal" luego se actualiza el "sampleCounter" el cual lleva el conteo del tiempo en milisegundos.

Se comprueba si "Signal" es menor que "thresh" y si ha pasado suficiente tiempo desde el último intervalo entre latidos (IBI) para evitar ruido. Si es así, se actualiza "T" con el valor de "Signal" si esta es menor que "T". Luego, se comprueba si "Signal" es mayor que "thresh" y mayor que P. Si es así, se actualiza "P" con el valor de Signal.

Una vez realizado esto, Se verifica si ha pasado suficiente tiempo desde el último latido y si "Pulse" es falso. Si se cumplen estas condiciones, se establece "Pulse" en verdadero y se actualizan los valores relacionados con el latido. También se lleva un seguimiento de los últimos 10 valores de intervalo entre latidos (IBI) en la matriz "rate". Se calcula el promedio de estos valores para determinar el ritmo cardíaco en BPM. Si "Signal" es menor que "thresh" y "Pulse" es verdadero, significa que el latido ha finalizado y los valores se actualizan y se restablecen los predeterminados. Para evitar ruido, si pasan más de 2.5 segundos sin detectar un latido, los valores predeterminados se reestablecen por defecto. Finalmente se habilitan nuevamente las interrupciones con la función "sei()" para la siguiente ejecución del código.

5.3.2 Código del Dispositivo Receptor

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial BTSerial(10, 12);
unsigned long lastMessageTime = 0;
int linesReceived = 0;
String receivedLine1 = "";
String receivedLine2 = "";
String receivedLine3 = "";

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);
int buzzerPin = 6;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  BTSerial.begin(9600);
  pinMode(buzzerPin, OUTPUT);

  lcd.init();
```

```

lcd.backlight();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("BPM:   ");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Ambient: ");
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("Dog:   ");
}

```

Ilustración 39 Código dispositivo receptor

Fuente: (Elaboración Propia)

Este siguiente código inicia incluyendo las bibliotecas necesarias que son las de “wire” para la comunicación I2C de la pantalla LCD, “LiquidCrystals” para controlar la pantalla y “softwareSerial” para los pines de comunicación serial del módulo receptor de bluetooth.

Se definen los pines y variables que serán utilizados como los del zumbador y se inicia la pantalla LCD. En el “void setup” se inicializan ambas comunicaciones seriales y se establecen las posiciones de las etiquetas que aparecerán en la pantalla LCD que son los “BPM” la temperatura “ambiente” y la temperatura “perro”.

```

void loop() {
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("BPM: ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Ambient: ");
  lcd.setCursor(0, 2);
  lcd.print("Dog: ");
  while (BTSerial.available() > 0) {
    char receivedChar = BTSerial.read();
    if (receivedChar == '\n' || receivedChar == '\r') {

      if (receivedLine1 == "") {
        receivedLine1 = receivedLine2;
        receivedLine2 = receivedLine3;
        receivedLine3 = "";
      } else if (receivedLine2 == "") {
        receivedLine2 = receivedLine3;
        receivedLine3 = "";
      }
    } else {
    }
  }
}

```

Ilustración 40 Bucle principal dispositivo receptor

Fuente: (Elaboración Propia)

Esta parte incluye el bucle principal que se ejecuta en este código. Nuevamente se imprimen las etiquetas de la pantalla y comienza la recepción de datos del módulo de bluetooth. Se verifica si hay datos disponibles en el puerto serial y de ser así los lee y verifica donde están los saltos de línea para indicar que tiene que imprimir una nueva línea.

Al detectar un salto de línea, los datos recibidos se almacenan en una de las 3 variables definidas para este propósito "receivedLine1" "receivedLine2" y "receivedLine3" ya que el módulo emisor solo envía 3 líneas de información conteniendo los "BPM" la temperatura del ambiente y la temperatura del perro.

```
if (receivedLine1 != "" && receivedLine2 != "" && receivedLine3 != "") {  
  
    if (receivedLine1.indexOf("alarm") != -1 ||  
receivedLine2.indexOf("alarm") != -1 || receivedLine3.indexOf("alarm") !=  
-1) {  
  
        digitalWrite(buzzerPin, HIGH);  
  
        lcd.clear();  
        lcd.setCursor(2, 1);  
        lcd.print("Seizure Detected!");  
  
        delay(2000);  
    } else {  
  
        int bpm = receivedLine1.substring(0, 4).toInt();  
  
        if (bpm >= 30 && bpm <= 240) {  
            lcd.setCursor(5, 0);  
            lcd.print(" ");  
            lcd.setCursor(5, 0);  
            lcd.print(bpm);  
  
            float ambient = receivedLine2.substring(0, 4).toFloat();  
            lcd.setCursor(9, 1);  
            lcd.print(" ");  
            lcd.setCursor(13, 1);  
            lcd.print(" ");  
            lcd.setCursor(9, 1);  
            lcd.print(ambient, 2);  
            lcd.setCursor(14, 1);  
            lcd.print(" C");  
        }  
    }  
}
```

```

float object = receivedLine3.substring(0, 4).toFloat();

if (object >= 10 && object <= 40) {
    lcd.setCursor(8, 2);
    lcd.print("          ");
    lcd.setCursor(5, 2);
    lcd.print(object, 2);
    lcd.setCursor(10, 2);
    lcd.print(" C");
    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print("          ");
}
}
}

receivedLine1 = "";
receivedLine2 = "";
receivedLine3 = "";

digitalWrite(buzzerPin, LOW);

delay(0);
}
}

```

Ilustración 41 Parte final código dispositivo receptor

Fuente: (Elaboración Propia)

En la parte final de este código, se inicia verificando la recepción completa de las 3 líneas de datos, verificando que ninguna de estas este vacía. Luego se busca la condición de alarma, si detecta la palabra "alarm" en alguna de las 3 líneas de datos, ¡se activa el zumbador en el pin digital 6 y se muestra la frase "Seizure detected!" en la pantalla LCD.

Si no se detecta la condición de alarma, el código continúa con la extracción de datos, se extrae el valor "BPM" de la primera línea y se verifica que este en un rango valido de entre 30 y 240 latidos por minuto y se imprimen en la pantalla, luego se imprime la temperatura ambiente junto con su unidad en Celsius y finalmente se imprime la temperatura de "perro" pero primero se verifica que este en un rango aceptable de entre 10 y 40 grados Celsius. Una vez que las 3

líneas de datos han sido procesadas, estas se borran para esperar el siguiente conjunto de datos.

Finalmente, en caso de que se haya activado la alarma, esta se apaga y el bucle se repite.

5.4 DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO

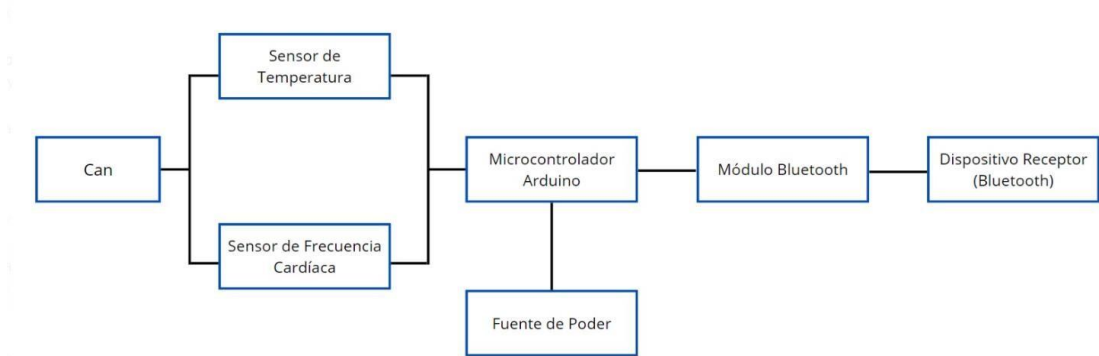


Ilustración 42 Diagrama de funcionamiento

Fuente: (Elaboración Propia)

5.5 PRUEBAS DEL PROTOTIPO

Para evaluar la eficacia del prototipo de monitoreo de convulsiones, se llevaron a cabo pruebas en un conjunto representativo de cinco canes. La selección de esta muestra fue cuidadosamente ponderada, siendo 4 de ellos pertenecientes a la raza schnauzer, reconocida como la más propensa a padecer epilepsia. Esta decisión se fundamentó en la relevancia clínica de esta raza en el contexto de la investigación.

Además, se incluyó un can de raza cocker, considerada según opiniones veterinarias como la segunda raza más propensa a desarrollar mencionada condición.

Nombre del can	Raza	Edad	Sexo
Benji	Schnauzer	4 años	Macho
Theo	Schnauzer	3 años	Macho
Millie	Schnauzer	7 años	Hembra
Gigi	Schnauzer	15 años	Hembra
Kira	Cocker	4 años	Hembra

Tabla 5 Perfil de canes de la muestra

Fuente: (Elaboración Propia)

La diversidad en la composición de la muestra se justificó con el propósito de enriquecer la representatividad del estudio. Aunque la raza schnauzer constituye el enfoque primordial dada su destacada propensión a padecer epilepsia, se reconoció que cocker es la segunda raza más propensa a desarrollar esta enfermedad.

La decisión de incorporar una muestra diversa más allá de la raza schnauzer, responde a la necesidad de evaluar y demostrar la adaptabilidad del prototipo de monitoreo de convulsiones en distintas razas caninas, ya que las demás razas no están exentas de padecer esta condición.

5.4.1 Comprobación del prototipo en los sujetos

Las pruebas se llevaron a cabo dentro de un intervalo temporal de 7 minutos, estratégicamente diseñado para optimizar la captura de datos cruciales durante los episodios de convulsiones caninas. Se consideró un período inicial de 2 minutos para permitir la estabilización del sensor de frecuencia cardíaca, reconociendo su tiempo necesario para alcanzar mediciones confiables.

Posteriormente, se implementó un período de monitoreo continuo de 5 minutos, ya que este lapso representa la duración máxima típica de una convulsión en canes (Mewasingh, 2014). Esta estructura temporal fue cuidadosamente seleccionada para garantizar una ventana de observación efectiva, capturando datos relevantes durante los momentos críticos de los eventos convulsivos. Y en cuanto a los rangos de temperatura y frecuencia cardíaca, los rangos normales en los que oscila la temperatura en canes son de 37 °C a 39.2 °C, mientras que la frecuencia cardíaca oscila entre 90 bpm a 140 bpm.

Los canes respondieron de manera favorable al uso del prototipo. A pesar de que la mayoría de ellos no estaban familiarizados con el uso de una pechera, se mostraron tranquilos durante los monitoreos. No manifestaron incomodidad ni experimentaron restricciones en sus movimientos o actividades debido a la pechera.

5.4.1.1 Pruebas Can 1



Ilustración 43 Sujeto 1: Benji

Fuente: (Elaboración Propia)

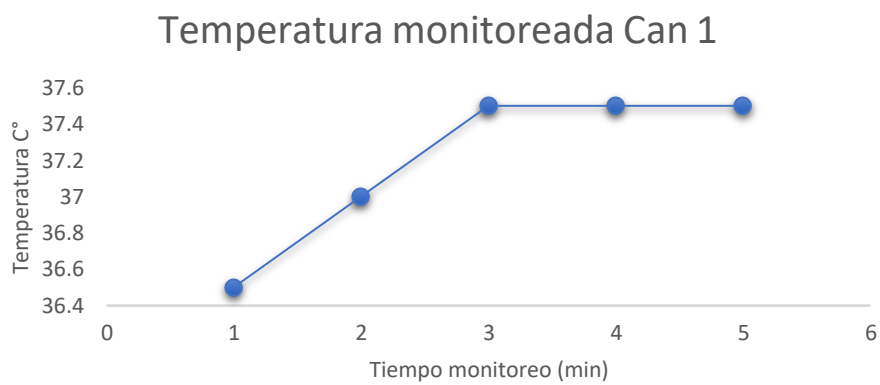


Ilustración 44 Gráfico monitoreo temperatura can 1

Fuente: (Elaboración Propia)

Los resultados del monitoreo durante 5 minutos indicaron una variación en la temperatura corporal del sujeto canino, la cual se mantuvo en un rango entre 36.5°C y 37.5°C. Este intervalo se encuentra dentro de los límites considerados normales para canes, reflejando así una homeostasis térmica adecuada durante el periodo de observación.

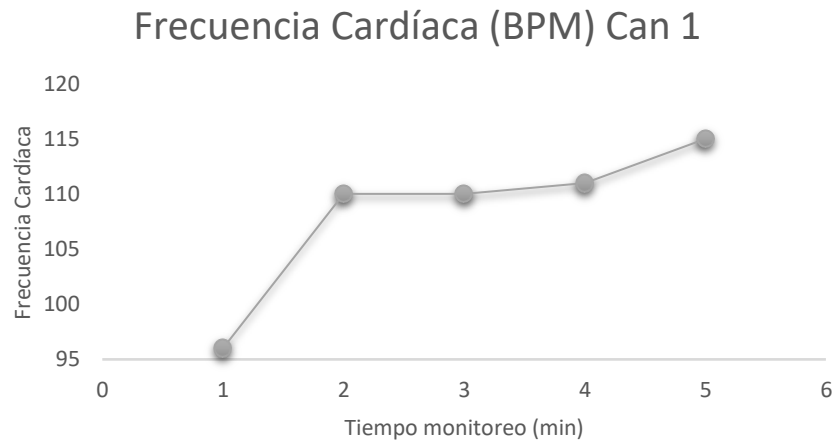


Ilustración 45 Gráfico monitoreo LPM en can 1

Fuente: (Elaboración Propia)

En cuanto a la frecuencia cardíaca, se registraron valores que oscilaron entre 96 BPM y 115 BPM durante el mismo periodo. Estos datos también se encuentran dentro de los parámetros normales para un perro en reposo o con actividad leve. La leve tendencia al aumento en la frecuencia cardíaca podría estar relacionada con factores como la excitación o la actividad física moderada, lo cual es una respuesta fisiológica esperada en estos contextos.

Aunque el sujeto no tenía previa experiencia en el uso de una pechera, su adaptación al prototipo fue fluida. Durante el periodo de monitoreo, se observó al can desenvolviéndose con notoria tranquilidad, llevando a cabo sus actividades habituales como caminar, comer y jugar con total normalidad.

Se adaptó con facilidad a la pechera, lo que subraya la eficacia del diseño, asegurando no solo un ajuste adecuado sino también una experiencia cómoda y sin contratiempos para el can. Este resultado prometedor respalda la funcionalidad y adaptabilidad del prototipo en el contexto real de la vida del can, reafirmando su idoneidad para su uso generalizado.

5.4.1.2 Pruebas Can 2



Ilustración 46 Sujeto 2: Theo

Fuente: (Elaboración Propia)

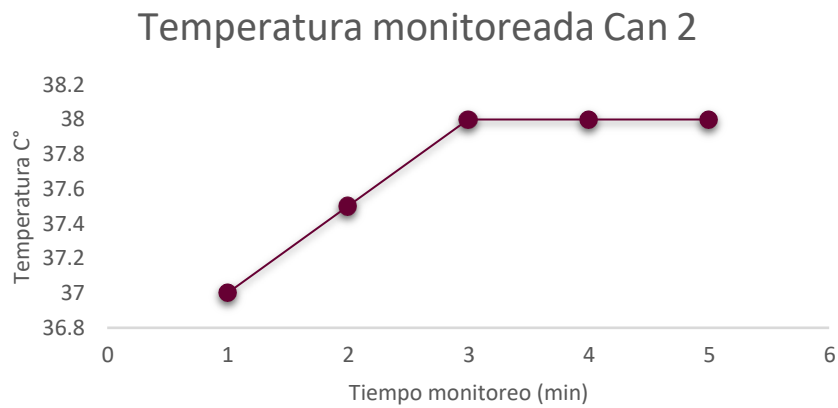


Ilustración 47 Gráfico monitoreo de temperatura Can 2

Fuente: (Elaboración Propia)

Los resultados del monitoreo realizado durante un período de 5 minutos revelan información valiosa sobre la temperatura corporal y la frecuencia cardíaca del can. En cuanto a la temperatura corporal, se observa una tendencia al aumento constante a lo largo del monitoreo, partiendo de 37°C en el primer minuto hasta alcanzar 38°C en los últimos minutos. Estos valores están dentro de los límites normales de temperatura para un can.

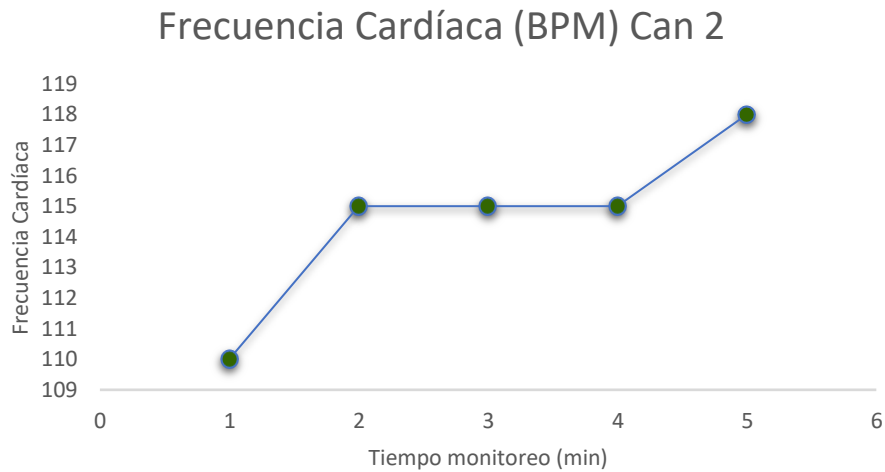


Ilustración 48 Gráfico monitoreo LPM Can 2

Fuente: (Elaboración Propia)

En lo que respecta a la frecuencia cardíaca, se registraron valores que fueron desde 110 BPM en el primer minuto hasta 118 BPM en el quinto minuto. Estas cifras se mantienen en el rango considerado normal para un perro en reposo o con actividad leve, que generalmente oscila entre 70 y 160 BPM. La elevación progresiva podría asociarse a la actividad física o a estímulos emocionales durante el monitoreo.

El sujeto 2, como el sujeto 1, no tenía experiencia utilizando una pechera, pero a diferencia del sujeto 1, el sujeto 2 mostró cierta confusión al ponerle el prototipo; le llevó unos minutos adaptarse a la pechera. Sin embargo, una vez que se sintió cómodo, llevó a cabo sus actividades con normalidad.

5.4.1.3 Pruebas Can 3



Ilustración 49 Sujeto 3: Millie

Fuente: (Elaboración Propia)

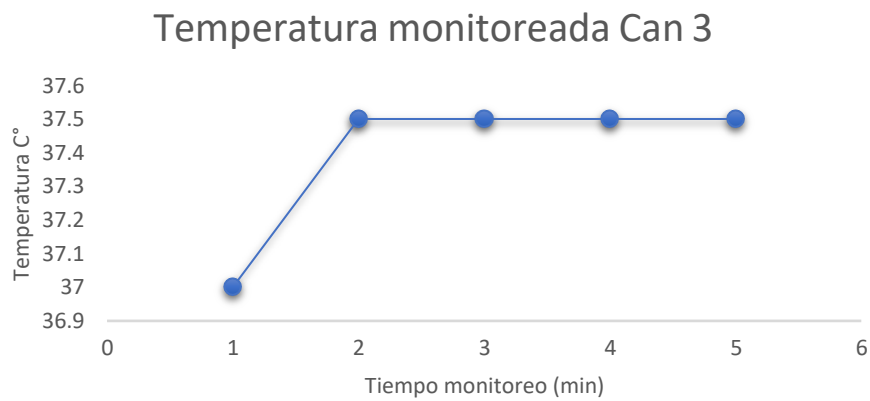


Ilustración 50 Gráfico monitoreo de temperatura Can 3

Fuente: (Elaboración Propia)

Los resultados del monitoreo durante los 5 minutos proporcionan una visión detallada de la temperatura corporal y la frecuencia cardíaca del can 3. En relación con la temperatura corporal, se observa que se mantiene relativamente constante en torno a 37.5°C durante todo el periodo de observación. Estos valores se encuentran dentro del rango normal para la temperatura corporal de un can. La estabilidad en la temperatura puede indicar un equilibrio térmico adecuado y una regulación eficiente de las funciones fisiológicas.

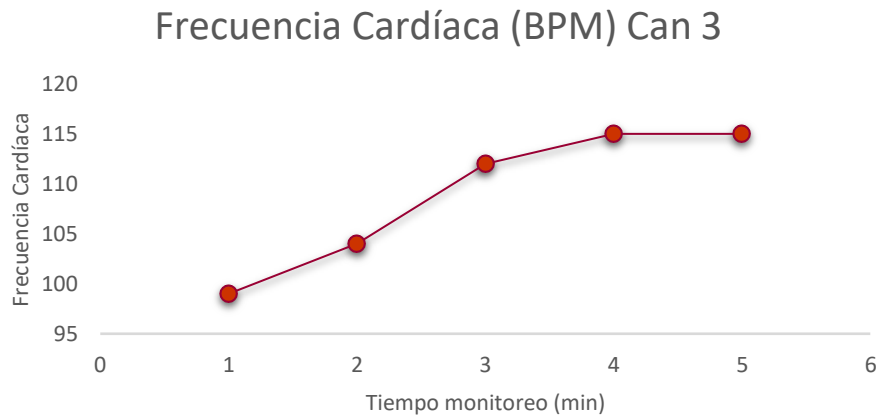


Ilustración 51 Gráfico monitoreo LPM Can 3

Fuente: (Elaboración Propia)

En lo que respecta a la frecuencia cardíaca, se observa un aumento progresivo desde 99 BPM en el primer minuto hasta 115 BPM en los últimos minutos. Aunque los valores se mantienen dentro del rango considerado normal para un can en reposo o con actividad leve, la tendencia al aumento podría indicar una respuesta fisiológica a estímulos ambientales o emocionales a lo largo del monitoreo.

El sujeto 3 demostró tranquilidad, al igual que el sujeto 1, al llevar puesta la pechera. No manifestó incomodidad durante el período de monitoreo y se adaptó rápidamente al prototipo. No mostró signos de inquietud ni indicaciones de querer quitarse el prototipo.

5.4.1.4 Pruebas Can 4



Ilustración 52 Sujeto 4: Gigi

Fuente: (Elaboración Propia)

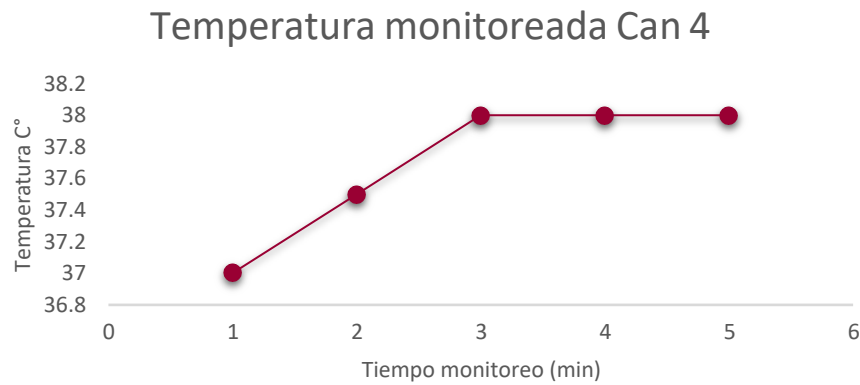


Ilustración 53 Gráfico monitoreo de temperatura Can 4

Fuente: (Elaboración Propia)

En cuanto a la temperatura corporal, se observa un aumento progresivo desde 37°C en el primer minuto hasta alcanzar 38°C en los minutos subsiguientes. Estos valores, aunque dentro del rango normal de temperatura para canes, indican una ligera elevación a lo largo del monitoreo. Esto podría relacionarse con factores ambientales, actividad física o respuesta emocional del sujeto.

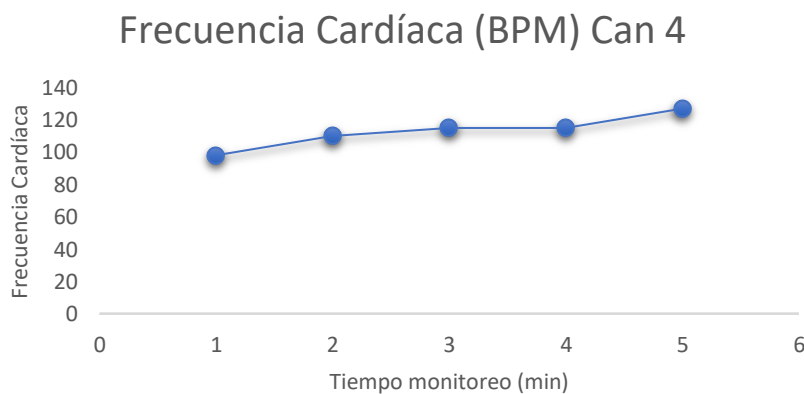


Ilustración 54 Gráfico monitoreo LPM Can 4

Fuente: (Elaboración Propia)

Respecto a la frecuencia cardíaca, se registra un aumento significativo desde 98 BPM en el primer minuto hasta 127 BPM en el último minuto del monitoreo. Aunque estos valores se encuentran en el rango considerado normal para perros, que generalmente va de 70 a 160 BPM,

la elevación marcada podría sugerir una respuesta fisiológica a la actividad o a estímulos específicos durante el monitoreo.

El sujeto 4 evidenció previa familiaridad con el uso de pecheras, lo que facilitó notablemente la colocación del prototipo en el can. A lo largo del período de monitoreo, el sujeto no exhibió señales de inquietud ni manifestó ninguna incomodidad asociada con la presencia del dispositivo experimental. Su adaptación fluida al nuevo prototipo sugiere una integración sin contratiempos, permitiéndole llevar a cabo sus actividades diarias con total normalidad.

5.4.1.5 Pruebas Can 5



Ilustración 55 Sujeto 5: Kira

Fuente: (Elaboración Propia)

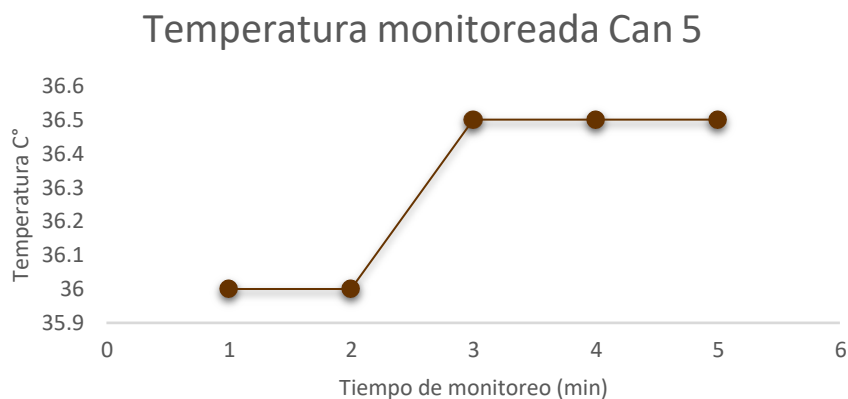


Ilustración 56 Gráfico monitoreo de temperatura Can 5

Fuente: (Elaboración Propia)

El análisis del monitoreo del can durante los 5 minutos revela una constancia notable en su temperatura corporal, manteniéndose en un rango alrededor de 37.5°C. Estos niveles se sitúan dentro de los límites normales para la temperatura de los canes, indicando una eficiente regulación térmica y equilibrio fisiológico del animal durante la duración de la observación.

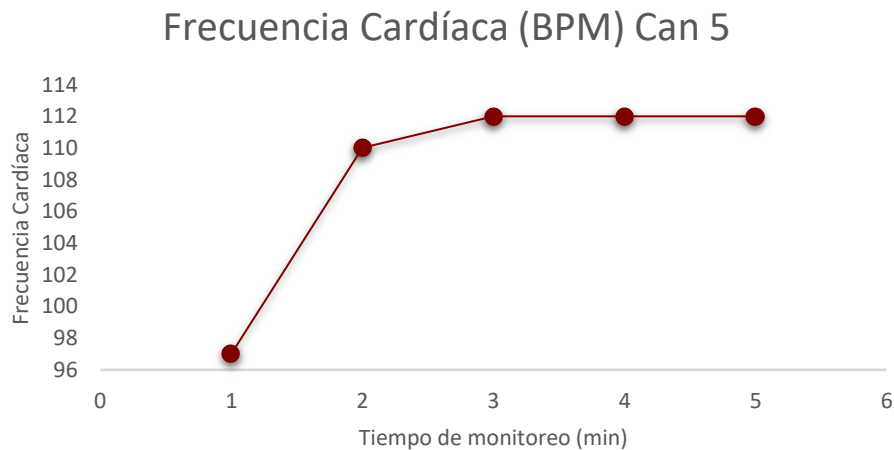


Ilustración 57 Gráfico monitoreo LPM Can 5

Fuente: (Elaboración Propia)

En lo que respecta a la frecuencia cardíaca, se evidencia una leve variación desde 99 BPM en el primer minuto hasta alcanzar 115 BPM en los minutos subsiguientes. Estos valores, dentro del rango considerado normal para canes en reposo o con actividad leve, sugieren una adaptación cardiovascular saludable a las condiciones ambientales o la actividad del can durante el monitoreo.

El sujeto 5, al igual que el sujeto 4, tenía experiencia previa con el uso de pecheras. No obstante, la emoción manifestada por el can al observar la pechera generó cierta dificultad en la colocación del prototipo. Fue necesario esperar unos minutos para que el can se calmara antes de poder ajustarle el sistema de monitoreo. Una vez que el can estaba más tranquilo, se llevó a cabo el proceso de monitoreo sin inconvenientes. Durante este período, el can demostró estar tranquilo y no manifestó ninguna incomodidad en relación con la estructura del prototipo.

VI. DISCUSIÓN

En esta sección se aborda la discusión de los resultados obtenidos en la investigación.

En la sección de resultados de la investigación, se exploraron los conocimientos de los veterinarios acerca de la epilepsia canina, acerca de los parámetros fisiológicos que se ven afectados durante los eventos convulsivos, pero también se identificaron las razas más propensas a padecer esta patología, contrastándolos con los hallazgos de diversos estudios revisados durante la fase de revisión bibliográfica.

En relación con la percepción de los veterinarios sobre la predisposición de ciertas razas a desarrollar epilepsia, se revelaron discrepancias significativas. Aunque el 60% de los veterinarios identificaron al Schnauzer como la raza más propensa, el 13% señaló otras razas como el Cocker, el Husky y el Pastor Alemán. Estas variaciones subrayaron la complejidad de la predisposición genética en diferentes razas caninas. No obstante, los resultados de la revisión bibliográfica respaldaron la conclusión de que el Schnauzer es la raza más propensa a padecer esta condición.

En cuanto a los parámetros de monitoreo durante eventos convulsivos, los resultados obtenidos de los veterinarios resaltaron la importancia de la presión arterial, temperatura corporal y frecuencia cardíaca, concordando con la literatura existente. Durante eventos convulsivos, se observó que los canes experimentan cambios en su ritmo cardíaco, saturación de oxígeno, presión arterial, respiración y temperatura (Van de Vel et al., 2016). Aunque los dueños de mascotas mayormente prefirieron monitorear la frecuencia cardíaca y la temperatura, también expresaron la importancia de vigilar la actividad anormal de sus mascotas, un aspecto no explícitamente mencionado por los veterinarios ni documentado en la literatura consultada.

La diversidad de perspectivas sobre los parámetros esenciales reflejó la flexibilidad en las prioridades de monitoreo, señalando la necesidad de enfoques personalizados en el tratamiento y monitoreo de la epilepsia canina.

La importancia de datos detallados sobre la frecuencia y duración de las convulsiones fue consensuada entre los veterinarios y respaldada por investigaciones, subrayando su necesidad

crítica para ajustar con precisión el tratamiento y evaluar la eficacia de las intervenciones terapéuticas.

La recopilación continua de datos fue destacada por los veterinarios como beneficiosa, permitiendo la medición precisa de episodios durante el tratamiento, anticipación de convulsiones para intervenciones tempranas y obtención de una comprensión detallada de los patrones convulsivos para personalizar tratamientos. La aceptación generalizada de un dispositivo de monitoreo de convulsiones indicó una oportunidad prometedora para mejorar la gestión de la epilepsia canina mediante la integración de tecnologías avanzadas.

En cuanto al desarrollo del prototipo, se tuvo que tomar en consideración el impacto que las 5 variables independientes iban a tener sobre el mismo. Las características de los componentes, así como el método de ensamblaje influyeron en la colocación de los sensores en el chaleco y en la necesidad de buscar los sensores que fueran más adecuados para la aplicación, incluyendo características como durabilidad y precisión.

La anatomía de los canes y los parámetros ergonómicos influyeron principalmente en las decisiones que se tomaron en cuanto al diseño del dispositivo. Fue necesario identificar la manera más óptima de acomodar los componentes dentro de la caja de conexiones ya que el tamaño de esta debía ser limitado para la comodidad del can. El impacto que tuvo el presupuesto fue que se identificaron todos los componentes más adecuados, pero cuidando que tuvieran un precio accesible ya que el fin de este dispositivo es hacerlo accesible al público general.

Siguiendo en la etapa de desarrollo del prototipo, una de las principales limitaciones con las que se lidió durante la etapa del desarrollo del dispositivo, fue la interferencia ocasionada por el módulo de bluetooth HC05 hacia el sensor de pulso XD-58C. Durante la etapa inicial donde solo se probó el sensor de pulso, esta medía los parámetros de forma exacta y sin ningún problema, pero al momento de incorporar el módulo de Bluetooth, los valores medidos por el sensor de pulso comenzaban a ser irregulares y completamente distintos a lo medidos por el oxímetro de pulso utilizado como referencia durante las pruebas.

Para intentar solucionar esta interferencia se intentaron distintos métodos desde la adición de diodos para separar los circuitos y también el uso de capacitores para intentar reducir la interferencia, pero esta seguía presente. Al intentar alimentar el módulo de Bluetooth con una batería de litio, el sensor de pulso comenzó a medir valores correctos nuevamente. Es por este motivo que para la versión final del dispositivo se decidió utilizar 2 baterías diferentes, una para el módulo de Bluetooth y otra para el resto del dispositivo.

Otra limitación que fue identificada durante la etapa de desarrollo fue la sensibilidad y mediciones del módulo de pulso XD-58C. Este módulo posee una alta sensibilidad lo cual lo hace una excelente opción para poder detectar cambios sutiles en la frecuencia cardiaca lo cual es necesario en la identificación y detección de convulsiones, pero esta sensibilidad también produjo dificultad al encontrar una colocación optima en el cuerpo del can debido a su pelaje. Esto causó que fuera necesario intentar en distintos lugares del perro como la oreja y el abdomen para poder identificar en qué lugar de su cuerpo el sensor podía obtener las mediciones sin interferencias.

Una vez que fueron abordadas estas limitaciones se realizaron los que fueron las pruebas una vez finalizado el prototipo, estos monitoreos se realizaron en 5 canes diferentes, la raza prevalente fue la raza Schnauzer tomando en cuenta la susceptibilidad de esta a padecer epilepsia según los veterinarios y estudios revisados, se compararon los resultados de los monitoreos con valores de referencia.

Se observó normalidad en los parámetros medidos, especialmente en la frecuencia cardíaca (oscilando entre 96 y 120 bpm). Aunque hubo ligeras variaciones respecto a los rangos consultados con veterinarios, estos se mantuvieron dentro de los límites considerados normales, los cuales son entre 60 bpm y 140 bpm en canes sanos (Edwards et al., 2022).

En el caso de la temperatura corporal (36.5°C a 38°C), los resultados también se ubicaron en el rango normal establecido por estudios revisados, respaldando así la precisión de los parámetros medidos y proporcionando una base confiable para la comprensión de la temperatura corporal en perros con epilepsia.

Para finalizar, el desarrollo de un prototipo para el monitoreo de convulsiones en canes con epilepsia representa un avance significativo para la realidad nacional en el ámbito veterinario. En muchos países, incluyendo el nuestro, la falta de dispositivos especializados para el monitoreo de convulsiones en animales ha sido una limitación importante en el tratamiento de enfermedades neurológicas como la epilepsia. Este proyecto de investigación no solo aborda esta carencia, sino que también ofrece una solución innovadora y específica para las necesidades de veterinarios y dueños de mascotas. Al proporcionar un medio efectivo y accesible para monitorear las convulsiones en canes con epilepsia, este prototipo no solo busca mejorar la calidad de vida de las mascotas afectadas, sino que también brindar a los profesionales veterinarios herramientas más precisas para diagnosticar y tratar esta enfermedad, impactando positivamente en la atención de la salud animal a nivel nacional.

VII. CONCLUSIONES

- Se logró desarrollar un prototipo doméstico para el monitoreo de convulsiones, con sensores específicos que permitieron la recopilación de datos durante eventos convulsivos para poder notificar a los dueños y tener un mejor monitoreo de esta condición, mejorando el cuidado de perros con epilepsia.

- Se estableció una colaboración estrecha con veterinarios con el propósito de indagar en los parámetros afectados durante una convulsión, con el fin de identificar aquellos que debían ser monitoreados para la detección temprana de episodios epilépticos. Además, se realizaron consultas específicas sobre las razas caninas más propensas a padecer epilepsia. La información recopilada desempeñó un papel importante en la toma de decisiones respecto al diseño del prototipo, influyendo en la selección de sensores, el dimensionamiento de la pechera y la disposición de componentes en la misma. Se aseguró que estas elecciones fueran cuidadosamente consideradas para evitar generar incomodidad en el can, especialmente teniendo en cuenta su tamaño reducido al tratarse de una raza pequeña. Este enfoque meticuloso garantizó que la pechera fuera ergonómica y liviana, optimizando así la experiencia del animal durante el monitoreo.

- En el proceso de selección de componentes, se eligieron cuidadosamente los sensores más adecuados para monitorear de manera precisa los parámetros. En particular, se optó por integrar un sensor de pulso óptico para la vigilancia del ritmo cardíaco y un sensor de temperatura infrarrojo para medir la temperatura corporal del can. La elección del sensor de pulso óptico permitió obtener lecturas precisas del ritmo cardíaco del can durante el tiempo de monitoreo. Por otro lado, la incorporación del sensor de temperatura infrarrojo posibilitó la monitorización precisa de la temperatura corporal del can, brindando información relevante sobre posibles cambios fisiológicos. Estas selecciones se basaron en la fiabilidad y la precisión de los sensores, asegurando así la obtención de datos confiables para el monitoreo efectivo.

- Durante el desarrollo del prototipo, se llevó a cabo una evaluación detallada para considerar factores críticos que pudieran impactar la aceptación del dispositivo por parte de los dueños de mascotas. En este análisis, se puso énfasis en la usabilidad, asegurándose de que la interacción con el sistema fuera sencilla y comprensible. Además, se evaluó la comodidad tanto para la mascota como para el dueño, considerando aspectos como la ergonomía de la pechera y la conveniencia en el proceso de monitoreo. Asimismo, se examinó cuidadosamente la facilidad de integración del prototipo en la rutina diaria de los usuarios, buscando evitar cualquier complicación innecesaria. Este enfoque en la usabilidad, comodidad y facilidad de integración se diseñó con el objetivo de no solo lograr la eficacia técnica del dispositivo, sino también asegurar su aceptación positiva y su adopción continua por parte de los dueños de mascotas.

VIII. RECOMENDACIONES

En esta sección se presentan recomendaciones para ofrecer orientación para abordar las limitaciones identificadas. Estas sugerencias se fundamentan en la investigación realizada, buscando promover el mejoramiento del área estudiada.

8.1 Interferencia

Durante la etapa de pruebas del dispositivo, se encontró un problema de interferencia con el módulo de bluetooth "HC-05" y el sensor de pulso "XD-58C". El sensor de pulso funcionaba bien por sí solo, pero daba valores irregulares al momento de conectar el módulo bluetooth. Para intentar resolver esta interferencia se intentó utilizar dos fuentes de poder distintas, una para el módulo bluetooth y otra para el resto del dispositivo, pero la interferencia seguía presente si ambas fuentes de poder estaban conectadas al mismo tomacorriente.

Se logró resolver esta interferencia utilizando 2 baterías diferentes, una para el módulo "HC-05" y otra para el resto del dispositivo. También se realizó una investigación en cuanto a esta interferencia y se logró encontrar un foro de la página oficial de Arduino en el que un usuario tuvo el mismo problema y estaba preguntando por una solución, pero no había respuesta para ello.

Para abordar este problema en iteraciones futuras, se recomienda utilizar módulos bluetooth diferentes que no causen interferencia o utilizar un protocolo de comunicación diferente como Wifi, Bluetooth Low Energy (BLE) o LoRa (low range). Esto no solo simplificaría el circuito del dispositivo, sino que también reduciría su tamaño contribuyendo a la ergonomía del dispositivo y la comodidad de la mascota.

8.1 Medición del sensor "XD-58C"

El sensor de pulso "XD-58C" tiene una alta sensibilidad lo cual lo hizo una buena opción para poder detectar hasta los cambios más sutiles en el ritmo cardiaco de la mascota. El sensor funcionó de manera óptima como se esperaba, pero hubo una dificultad en cuanto a la colocación en los perros debido a su pelaje. Se probaron diferentes colocaciones del sensor incluyendo el

estómago y la oreja de los perros hasta que se lograron obtener resultados precisos. La ubicación final donde se colocó el sensor al momento de las pruebas fue en el pecho de los canes, lugar donde se obtenían mejores mediciones.

Para abordar este problema se recomienda utilizar un sensor de pulso que se ajuste mejor a la anatomía canina para eliminar la dificultad de tener que probar el sensor en diferentes partes del cuerpo de la mascota hasta poder obtener mediciones.

REFERENCIAS

1. ASALE, R.-, & RAE. (s. f.-a). *Diccionario de la lengua española | Edición del Tricentenario*. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. Recuperado 20 de enero de 2024, de <https://dle.rae.es/>
2. *Tipos de convulsiones | Epilepsia | CDC*. (2019, febrero 7). <https://www.cdc.gov/epilepsy/spanish/basicos/convulsiones.html>
3. *Convulsión generalizada*. (2022, febrero 15). Ada. <https://ada.com/es/conditions/generalized-seizure/>
4. *Electroencefalografía (EEG)—Mayo Clinic*. (s. f.). Recuperado 20 de enero de 2024, de <https://www.mayoclinic.org/es/tests-procedures/eeg/about/pac-20393875>
5. *Electromiografía y estudios de conducción nerviosa: Prueba de laboratorio de MedlinePlus*. (s. f.). Recuperado 20 de enero de 2024, de <https://medlineplus.gov/spanish/pruebas-de-laboratorio/electromiografia-y-estudios-de-conduccion-nerviosa/>
6. *Epilepsia: MedlinePlus enciclopedia médica*. (s. f.). Recuperado 17 de enero de 2024, de <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000694.htm>
7. ASALE, R.-, & RAE. (s. f.-b). *Eutanasia | Diccionario de la lengua española*. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. Recuperado 27 de febrero de 2024, de <https://dle.rae.es/eutanasia>
8. ASALE, R.-, & RAE. (s. f.-c). *Inercia | Diccionario de la lengua española*. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. Recuperado 27 de febrero de 2024, de <https://dle.rae.es/inercia>
9. *Fenobarbital*. (s. f.). Recuperado 27 de febrero de 2024, de <https://www.stjude.org/es/cuidado-tratamiento/medicacion-del-paciente/fenobarbital.html>

10. Administrator. (s. f.). *Frecuencia cardiaca*. Fundación Española del Corazón. Recuperado 27 de febrero de 2024, de <https://fundaciondelcorazon.com/prevencion/marcadores-de-riesgo/frecuencia-cardiaca.html>
11. ASALE, R.-, & RAE. (s. f.-d). *Invasivo, invasiva* | *Diccionario de la lengua española*. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. Recuperado 27 de febrero de 2024, de <https://dle.rae.es/invasivo>
12. Bayés de Luna, A., & Elosua, R. (2012). Muerte súbita. *Revista Española de Cardiología*, 65(11), 1039-1052. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2012.03.032>
13. *Definición de no invasivo—Diccionario de cáncer del NCI - NCI* (nciglobal,ncienterprise). (2011, febrero 2). [nciAppModulePage]. <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/no-invasivo>
14. Bou Assi, E., Nguyen, D. K., Rihana, S., & Sawan, M. (2018). A Functional-Genetic Scheme for Seizure Forecasting in Canine Epilepsy. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 65(6), 1339-1348. <https://doi.org/10.1109/TBME.2017.2752081>
15. Gagliano, L., Assi, E. B., Sawan, M., & Nguyen, D. K. (2018). Bicoherence of Intracranial EEG: A Novel Precursor of Seizure Activity in Canine Epilepsy. *2018 IEEE Life Sciences Conference (LSC)*, 93-96. <https://doi.org/10.1109/LSC.2018.8572206>
16. Keezer, M. R., Sisodiya, S. M., & Sander, J. W. (2016). Comorbidities of epilepsy: Current concepts and future perspectives. *The Lancet Neurology*, 15(1), 106-115. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(15\)00225-2](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(15)00225-2)
17. Löscher, W., & Worrell, G. A. (2022). Novel subscalp and intracranial devices to wirelessly record and analyze continuous EEG in unsedated, behaving dogs in their natural environments: A new paradigm in canine epilepsy research. *Frontiers in Veterinary Science*, 9. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2022.1014269>

18. Barry, M., Cameron, S., Kent, S., Barnes-Heller, H., & Grady, K. (2021). Daytime and nocturnal activity in treated dogs with idiopathic epilepsy compared to matched unaffected controls. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 35(4), 1826-1833.
<https://doi.org/10.1111/jvim.16205>
19. Bocheńska, A., Kwiatkowska, M., Pomianowski, A., Monowid, T., & Adamiak, Z. (2014). Electroencephalography recording analysis in monitoring of canine idiopathic epilepsy treated with phenobarbital. Pilot study. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 17(4), 717-719. <https://doi.org/10.2478/pjvs-2014-0104>
20. Ulate-Campos, A., Coughlin, F., Gaínza-Lein, M., Fernández, I. S., Pearl, P. L., & Loddenkemper, T. (2016). Automated seizure detection systems and their effectiveness for each type of seizure. *Seizure*, 40, 88-101.
<https://doi.org/10.1016/j.seizure.2016.06.008>
21. AKC Canine Health Foundation | *Understanding Canine Epilepsy*. (s. f.). Recuperado 30 de diciembre de 2023, de <https://www.akcchf.org/canine-health/top-health-concerns/epilepsy/understanding-canine-epilepsy.html>
22. Blades Golubovic, S., & Rossmeisl, J. H. (2017). Status epilepticus in dogs and cats, part 2: Treatment, monitoring, and prognosis. *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care*, 27(3), 288-300. <https://doi.org/10.1111/vec.12604>
23. Hasegawa, D. (2016). Diagnostic techniques to detect the epileptogenic zone: Pathophysiological and presurgical analysis of epilepsy in dogs and cats. *The Veterinary Journal*, 215, 64-75. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2016.03.005>
24. Brinkmann, B. H., Patterson, E. E., Vite, C., Vasoli, V. M., Crepeau, D., Stead, M., Howbert, J. J., Cherkassky, V., Wagenaar, J. B., Litt, B., & Worrell, G. A. (2015). Forecasting Seizures Using Intracranial EEG Measures and SVM in Naturally Occurring Canine Epilepsy. *PLoS ONE*, 10(8), e0133900. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133900>

25. Kwiatkowska, M., Tipold, A., Huenerfauth, E., & Pomianowski, A. (2018). Clinical Risk Factors for Early Seizure Recurrence in Dogs Hospitalized for Seizure Evaluation. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 32(2), 757-763. <https://doi.org/10.1111/jvim.15046>
 26. Podell, M., Volk, H. A., Berendt, M., Löscher, W., Muñana, K., Patterson, E. E., & Platt, S. R. (2016). 2015 ACVIM Small Animal Consensus Statement on Seizure Management in Dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 30(2), 477-490. <https://doi.org/10.1111/jvim.13841>
 27. Coles, L. D., Patterson, E. E., Sheffield, W. D., Mavoori, J., Higgins, J., Bland, M., Leyde, K., Cloyd, J. C., Litt, B., Vite, C., & Worrell, G. (2013). Feasibility Study of a Caregiver Seizure Alert System in Canine Epilepsy. *Epilepsy research*, 106(3), 456-460. <https://doi.org/10.1016/j.eplepsyres.2013.06.007>
 28. Bongers, J., Gutierrez-Quintana, R., & Stalin, C. E. (2021). Owner's Perception of Seizure Detection Devices in Idiopathic Epileptic Dogs. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 792647. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.792647>
 29. Hirashima, J., Saito, M., Kuriyama, T., Akamatsu, T., & Yokomori, M. (2022). Detection of Generalized Tonic–Clonic Seizures in Dogs With a Seizure Detection System Established Using Acceleration Data and the Mahalanobis Distance: A Preliminary Study. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 848604. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.848604>
17. *Monográfico epilepsia canina.pdf*. (s. f.). Recuperado 28 de enero de 2024, de <https://www.vetcenter.purina.es/sites/default/files/materials/17.%20Monografico%20epilepsia%20canina.pdf>
- Administrator. (s. f.). *Frecuencia cardiaca*. Fundación Española del Corazón. Recuperado 27 de febrero de 2024, de <https://fundaciondelcorazon.com/prevencion/marcadores-de-riesgo/frecuencia-cardiaca.html>

- AKC Canine Health Foundation | *Understanding Canine Epilepsy*. (s. f.). Recuperado 30 de diciembre de 2023, de <https://www.akcchf.org/canine-health/top-health-concerns/epilepsy/understanding-canine-epilepsy.html>
- Arends, J. B. A. M. (2018). Movement-based seizure detection. *Epilepsia*, 59(S1), 30-35. <https://doi.org/10.1111/epi.14053>
- ASALE, R.-, & RAE. (s. f.-a). *Diccionario de la lengua española | Edición del Tricentenario*. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. Recuperado 20 de enero de 2024, de <https://dle.rae.es/>
- ASALE, R.-, & RAE. (s. f.-b). *Eutanasia | Diccionario de la lengua española*. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. Recuperado 27 de febrero de 2024, de <https://dle.rae.es/eutanasia>
- ASALE, R.-, & RAE. (s. f.-c). *Inercia | Diccionario de la lengua española*. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. Recuperado 27 de febrero de 2024, de <https://dle.rae.es/inercia>
- ASALE, R.-, & RAE. (s. f.-d). *Invasivo, invasiva | Diccionario de la lengua española*. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. Recuperado 27 de febrero de 2024, de <https://dle.rae.es/invasivo>
- Barry, M., Cameron, S., Kent, S., Barnes-Heller, H., & Grady, K. (2021). Daytime and nocturnal activity in treated dogs with idiopathic epilepsy compared to matched unaffected controls. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 35(4), 1826-1833. <https://doi.org/10.1111/jvim.16205>
- Bayés de Luna, A., & Elosua, R. (2012). Muerte súbita. *Revista Española de Cardiología*, 65(11), 1039-1052. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2012.03.032>
- Blades Golubovic, S., & Rossmeisl, J. H. (2017). Status epilepticus in dogs and cats, part 2: Treatment, monitoring, and prognosis. *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care*, 27(3), 288-300. <https://doi.org/10.1111/vec.12604>

- Bocheńska, A., Kwiatkowska, M., Pomianowski, A., Monowid, T., & Adamiak, Z. (2014). Electroencephalography recording analysis in monitoring of canine idiopathic epilepsy treated with phenobarbital. Pilot study. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 17(4), 717-719. <https://doi.org/10.2478/pjvs-2014-0104>
- Bongers, J., Gutierrez-Quintana, R., & Stalin, C. E. (2021). Owner's Perception of Seizure Detection Devices in Idiopathic Epileptic Dogs. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 792647. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.792647>
- Bou Assi, E., Nguyen, D. K., Rihana, S., & Sawan, M. (2018). A Functional-Genetic Scheme for Seizure Forecasting in Canine Epilepsy. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 65(6), 1339-1348. <https://doi.org/10.1109/TBME.2017.2752081>
- Brinkmann, B. H., Patterson, E. E., Vite, C., Vasoli, V. M., Crepeau, D., Stead, M., Howbert, J. J., Cherkassky, V., Wagenaar, J. B., Litt, B., & Worrell, G. A. (2015). Forecasting Seizures Using Intracranial EEG Measures and SVM in Naturally Occurring Canine Epilepsy. *PLoS ONE*, 10(8), e0133900. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133900>
- Coles, L. D., Patterson, E. E., Sheffield, W. D., Mavoori, J., Higgins, J., Bland, M., Leyde, K., Cloyd, J. C., Litt, B., Vite, C., & Worrell, G. (2013). Feasibility Study of a Caregiver Seizure Alert System in Canine Epilepsy. *Epilepsy research*, 106(3), 456-460. <https://doi.org/10.1016/j.eplepsyres.2013.06.007>
- Convulsión generalizada*. (2022, febrero 15). Ada. <https://ada.com/es/conditions/generalized-seizure/>
- Definición de no invasivo—Diccionario de cáncer del NCI - NCI* (nciglobal,ncienterprise). (2011, febrero 2). [nciAppModulePage]. <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/no-invasivo>
- Edwards, P. T., Smith, B. P., McArthur, M. L., & Hazel, S. J. (2022). At the heart of a dog's veterinary experience: Heart rate responses in dogs vary across a standard physical

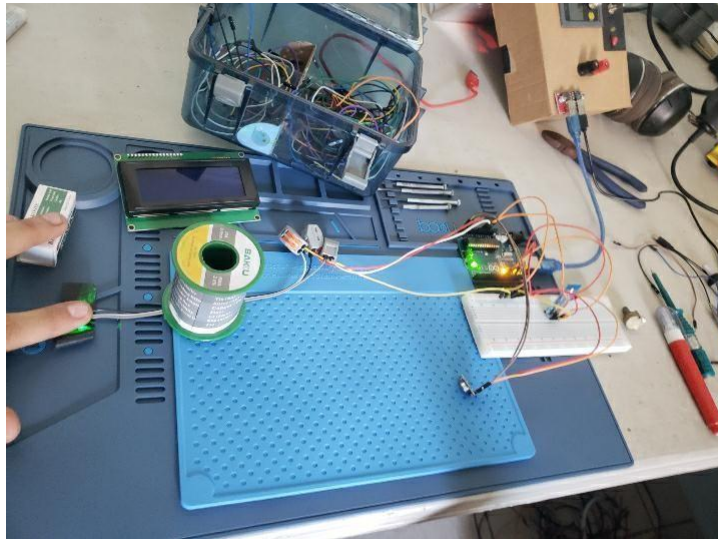
- examination. *Journal of Veterinary Behavior*, 51, 23-34.
<https://doi.org/10.1016/j.jveb.2022.03.003>
- Electroencefalografía (EEG)—Mayo Clinic*. (s. f.). Recuperado 20 de enero de 2024, de <https://www.mayoclinic.org/es/tests-procedures/eeg/about/pac-20393875>
- Electromiografía y estudios de conducción nerviosa: Prueba de laboratorio de MedlinePlus*. (s. f.). Recuperado 20 de enero de 2024, de <https://medlineplus.gov/spanish/pruebas-de-laboratorio/electromiografia-y-estudios-de-conduccion-nerviosa/>
- Epilepsia: MedlinePlus enciclopedia médica*. (s. f.). Recuperado 17 de enero de 2024, de <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000694.htm>
- Fenobarbital*. (s. f.). Recuperado 27 de febrero de 2024, de <https://www.stjude.org/es/cuidado-tratamiento/medicacion-del-paciente/fenobarbital.html>
- Finnegan, S. L., Volk, H. A., Asher, L., Daley, M., & Packer, R. M. A. (2020). Investigating the potential for seizure prediction in dogs with idiopathic epilepsy: Owner-reported prodromal changes and seizure triggers. *Veterinary Record*, 187(4), 152-152.
<https://doi.org/10.1136/vr.105307>
- Fischer, A. (2020a). Idiopathic epilepsy in dogs: Insights into factors that may predict upcoming seizure activity. *Veterinary Record*, 187(4), 149-151. <https://doi.org/10.1136/vr.m3252>
- Fischer, A. (2020b). Idiopathic epilepsy in dogs: Insights into factors that may predict upcoming seizure activity. *Veterinary Record*, 187(4), 149-151. <https://doi.org/10.1136/vr.m3252>
- Gagliano, L., Assi, E. B., Sawan, M., & Nguyen, D. K. (2018). Bicoherence of Intracranial EEG: A Novel Precursor of Seizure Activity in Canine Epilepsy. *2018 IEEE Life Sciences Conference (LSC)*, 93-96. <https://doi.org/10.1109/LSC.2018.8572206>
- Hasegawa, D. (2016). Diagnostic techniques to detect the epileptogenic zone: Pathophysiological and presurgical analysis of epilepsy in dogs and cats. *The Veterinary Journal*, 215, 64-75. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2016.03.005>

- Hirashima, J., Saito, M., Kuriyama, T., Akamatsu, T., & Yokomori, M. (2022). Detection of Generalized Tonic–Clonic Seizures in Dogs With a Seizure Detection System Established Using Acceleration Data and the Mahalanobis Distance: A Preliminary Study. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 848604. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.848604>
- Jory, C., Shankar, R., Coker, D., McLean, B., Hanna, J., & Newman, C. (2016). Safe and sound? A systematic literature review of seizure detection methods for personal use. *Seizure - European Journal of Epilepsy*, 36, 4-15. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2016.01.013>
- Keezer, M. R., Sisodiya, S. M., & Sander, J. W. (2016). Comorbidities of epilepsy: Current concepts and future perspectives. *The Lancet Neurology*, 15(1), 106-115. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(15\)00225-2](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(15)00225-2)
- Kwiatkowska, M., Tipold, A., Huenerfauth, E., & Pomianowski, A. (2018). Clinical Risk Factors for Early Seizure Recurrence in Dogs Hospitalized for Seizure Evaluation. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 32(2), 757-763. <https://doi.org/10.1111/jvim.15046>
- Löscher, W., & Worrell, G. A. (2022). Novel subscalp and intracranial devices to wirelessly record and analyze continuous EEG in unsedated, behaving dogs in their natural environments: A new paradigm in canine epilepsy research. *Frontiers in Veterinary Science*, 9. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2022.1014269>
- Medicine, C. for V. (2023). Cómo regula la FDA los dispositivos para animales. *FDA*. <https://www.fda.gov/animal-veterinary/animal-health-literacy/como-regula-la-fda-los-dispositivos-para-animales>
- Meller, S., Zamansky, A., Sinitca, A., Kaplun, D., Meyerhoff, N., Stein, V., Tipold, A., & Volk, H. (2022). Sounds of seizures-acoustic information enables immediate recognition and detection of generalized tonic-clonic seizures in dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 36(1), 305.
- Mewasingh, L. D. (2014). Febrile seizures. *BMJ Clinical Evidence*, 2014, 0324.

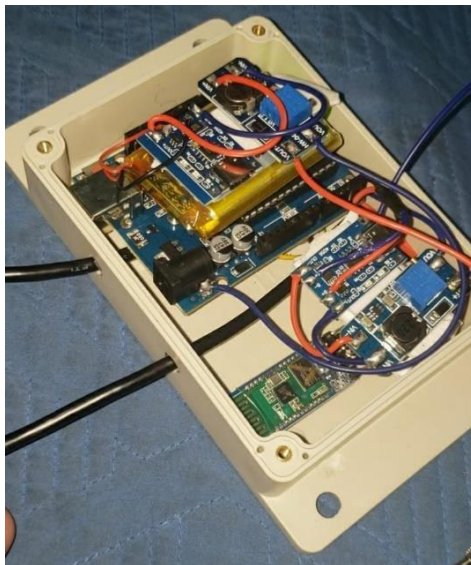
- Muñana, K. R., Nettifee, J. A., Griffith, E. H., Early, P. J., & Yoder, N. C. (2020). Evaluation of a collar-mounted accelerometer for detecting seizure activity in dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 34(3), 1239-1247. <https://doi.org/10.1111/jvim.15760>
- Ortega, C. (2021, abril 14). Investigación mixta. Qué es y tipos que existen. *QuestionPro*. <https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-mixta/>
- Podell, M., Volk, H. A., Berendt, M., Löscher, W., Muñana, K., Patterson, E. E., & Platt, S. R. (2016). 2015 ACVIM Small Animal Consensus Statement on Seizure Management in Dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 30(2), 477-490. <https://doi.org/10.1111/jvim.13841>
- ¿Qué es el modelo V? (2020, junio 23). IONOS Digital Guide. <https://www.ionos.es/digitalguide/paginas-web/desarrollo-web/modelo-v/>
- Tipos de convulsiones | *Epilepsia* | CDC. (2019, febrero 7). <https://www.cdc.gov/epilepsy/spanish/basicos/convulsiones.html>
- Ulate-Campos, A., Coughlin, F., Gaínza-Lein, M., Fernández, I. S., Pearl, P. L., & Loddenkemper, T. (2016). Automated seizure detection systems and their effectiveness for each type of seizure. *Seizure*, 40, 88-101. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2016.06.008>
- Van de Vel, A., Cuppens, K., Bonroy, B., Milosevic, M., Jansen, K., Van Huffel, S., Vanrumste, B., Cras, P., Lagae, L., & Ceulemans, B. (2016). Non-EEG seizure detection systems and potential SUDEP prevention: State of the art: Review and update. *Seizure*, 41, 141-153. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2016.07.012>

ANEXOS

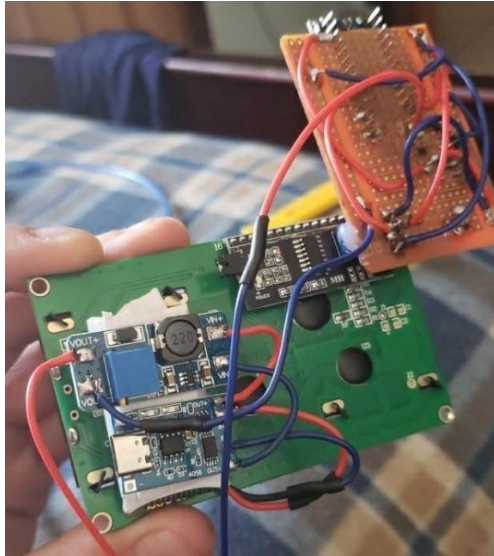
Los anexos adjuntos ofrecen información complementaria y recursos adicionales para enriquecer lo abordado en el proyecto de investigación.



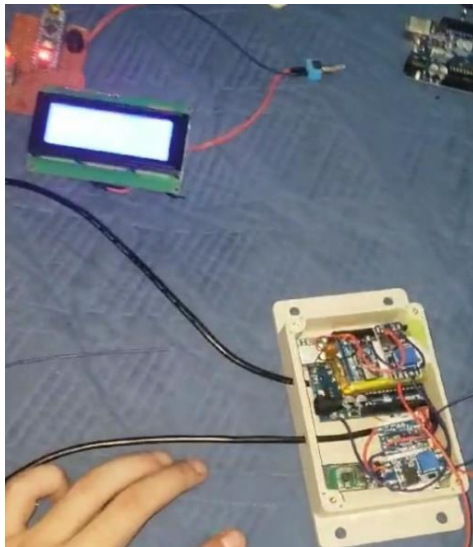
Anexo 1 Prueba de los circuitos



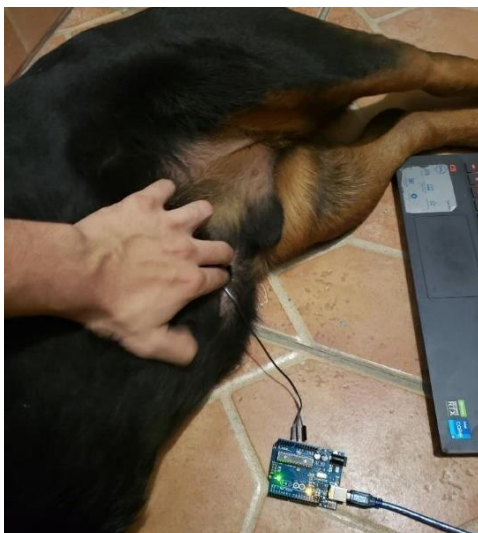
Anexo 2 Prueba de colocación de componentes en la caja



Anexo 3 Circuitos soldados



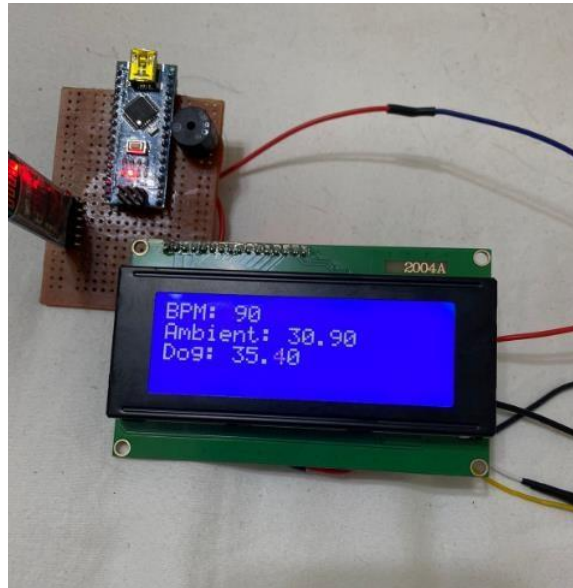
Anexo 4 Primeras pruebas



Anexo 5 Primera prueba de mediciones antes del ensamblaje en pechera



Anexo 6 Segunda prueba de mediciones antes del ensamblaje en pechera



Anexo 7 Datos obtenidos de la prueba



Anexo 8 Prototipo terminado



Anexo 9 Prueba de prototipo en el can



Anexo 10 Prototipo en can 2

Prototipo para monitoreo de convulsiones en epilepsia canina

Formulario para médicos veterinarios

kaith.shuang.fu11@gmail.com [Cambiar de cuenta](#)



No compartido

* Indica que la pregunta es obligatoria

Género *

- Femenino
- Masculino

Edad *

- 18-24
- 25-34
- 35-44
- 45-54
- 55-64
- 65 o más

¿En qué institución académica obtuvo su formación veterinaria? Por favor, proporcione el nombre de la universidad o instituto y, si es posible, especifique el país donde se encuentra la institución. *

Anexo 11 Encuesta veterinarios

¿En qué institución académica obtuvo su formación veterinaria? Por favor, proporcione el nombre de la universidad o instituto y, si es posible, especifique el país donde se encuentra la institución. *

Tu respuesta

¿Con qué frecuencia encuentra casos de epilepsia en perros en su práctica diaria? *

- Diariamente
- Ocasionalmente (varias veces al año)
- Raramente (al menos una vez al año)
- Nunca

En su experiencia clínica, ¿percibe ciertas razas de perros como más propensas a padecer epilepsia que otras? Si es así, ¿podría mencionar algunas de estas razas? *

Tu respuesta

En su experiencia, ¿qué tipo de parámetros fisiológicos considera más relevantes para monitorizar durante una convulsión en perros? *

- Temperatura corporal
- Frecuencia cardíaca
- Presión Arterial
- Respiración
- Pupilas Dilatadas

Anexo 12 Encuesta Veterinarios

En su experiencia, ¿qué tipo de parámetros fisiológicos considera más relevantes para monitorizar durante una convulsión en perros? *

- Temperatura corporal
- Frecuencia cardíaca
- Presión Arterial
- Respiración
- Pupilas Dilatadas

¿Cree que la información sobre la frecuencia y duración de las convulsiones es esencial para la gestión de estos casos? *

- Sí
- No

Justifique su respuesta anterior *

Tu respuesta _____

¿Considera importante la monitorización continua de estos parámetros durante todo el episodio de convulsiones? *

- Sí
- No

Anexo 13 Encuesta Veterinarios

Justifique su respuesta anterior *

Tu respuesta

¿Cómo cree que la recopilación de datos continuos podría beneficiar el tratamiento y seguimiento de la epilepsia? *

Tu respuesta

¿Ha oído hablar acerca de algún dispositivo para el monitoreo de convulsiones en perros con epilepsia? *

Sí

No

¿Cree que un dispositivo de monitoreo de convulsiones sería útil en la gestión de perros con epilepsia? *

Sí

No

Justifique su respuesta anterior *

Tu respuesta

Anexo 14 Encuesta Veterinarios