

CONESCAPANHONDURAS2025paper16.pdf

 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

Document Details

Submission ID

trn:oid:::14348:477905378

Submission Date

Aug 1, 2025, 1:17 PM CST

Download Date

Aug 12, 2025, 12:16 PM CST

File Name

CONESCAPANHONDURAS2025paper16.pdf

File Size

855.8 KB

6 Pages




4,990 Words

27,622 Characters

19% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Top Sources

- 18%  Internet sources
- 14%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags




0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

- 18%  Internet sources
- 14%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Publication	Ahmmmed, Parvez. "Low-Power Bioelectrophotonic Systems for Physiological Moni...	1%
2	Internet	www.scielo.br	<1%
3	Internet	journal.kci.go.kr	<1%
4	Publication	Marta Siguín, Roberto Casas, Óscar Casas, Teresa Blanco. "Towards Effective Wea...	<1%
5	Publication	G. Romito, P. Castagna, N.G. Pelle, F. Testa, M.C. Sabetti, M. Cipone. "The canine T ...	<1%
6	Internet	www.researchgate.net	<1%
7	Publication	T. Gunasekaran, R.A. Sanders. "Determining the optimal Holter monitoring durati...	<1%
8	Internet	www.irjmets.com	<1%
9	Internet	www2.informatik.hu-berlin.de	<1%
10	Publication	Deyao Shen, Xuyuan Tao, Vladan Koncar, Jianping Wang. "A Review of Intelligent ...	<1%
11	Internet	search.ieice.org	<1%

12	Internet	www.coursehero.com	<1%
13	Publication	Canjun Yang, Haobo Xie, Haoze Xu, Yuxin Chen, Kedi Xu, Wei Yang. "Rat-Robot Au...	<1%
14	Internet	repositorio.upct.es	<1%
15	Publication	Linh Pham, Manoranjan Paul, Chandana Withana. "Noncontact detection of cardi...	<1%
16	Publication	Jung Kyu Park, Eun Young Park. "Animal Monitoring Scheme in Smart Farm using ...	<1%
17	Internet	journals.plos.org	<1%
18	Internet	hdl.handle.net	<1%
19	Internet	www.rm.is.tohoku.ac.jp	<1%
20	Internet	epistemus.unison.mx	<1%
21	Internet	pubs.rsc.org	<1%
22	Internet	repositorio.uss.edu.pe	<1%
23	Internet	zagan.unizar.es	<1%
24	Internet	www.neliti.com	<1%
25	Internet	saluddigital.com	<1%

26	Internet	biomedical-engineering-online.biomedcentral.com	<1%
27	Internet	www.e3s-conferences.org	<1%
28	Internet	conferencias.saludcyt.ar	<1%
29	Internet	ddd.uab.cat	<1%
30	Internet	umu.diva-portal.org	<1%
31	Internet	oro.open.ac.uk	<1%
32	Internet	sired.udenar.edu.co	<1%
33	Publication	Jairo Javier Jattin Balcázar, Daniel Felipe Galeano Sánchez, Gerardo Quintana Lóp...	<1%
34	Publication	Thabile Madlala, Victoria T. Adeleke, Moses Okpeku, Selaelo I. Tshilwane, Adebay...	<1%
35	Publication	R. Villarroel. "A UML profile for designing secure data warehouses", IEEE Latin Am...	<1%
36	Internet	elcatolicismo.com.co	<1%
37	Internet	www2.todito.com	<1%
38	Internet	buleria.unileon.es	<1%
39	Internet	ebin.pub	<1%

40	Internet	
las.depaul.edu		<1%
41	Internet	
pesquisa.bvsalud.org		<1%
42	Internet	
www.meditag.in		<1%

Evaluación y Optimización de un Sistema Wearable para la Medición de Frecuencia Cardíaca en Perros

Abstract - Las enfermedades cardíacas son una latente causa de consultas veterinarias, la detección temprana y adecuado monitoreo de estas afecciones son clave para aumentar las probabilidades de un pronóstico favorable; contar con métodos de monitoreo accesible y no invasivos implica usualmente costos elevados. Fundamentado en este contexto, el estudio se enfocó en la optimización de un prototipo wearable para monitoreo de frecuencia cardíaca en perros, superando problemas previos como señales débiles, componentes difíciles de reemplazar y fallas de código. Usando una metodología en V, se validaron las mejoras en 19 perros con acompañamiento de médicos veterinarios y comparando los datos con un monitor ECG tradicional. Las actualizaciones incluyeron un rediseño del prototipo, electrodos impresos en 3D con PLA conductivo, visualización en pantalla, conectividad bluetooth y un cinturón ajustable. Los resultados mostraron una señal más precisa, con una reducción del margen de error en 16.45%, mejor ergonomía y validación positiva por parte de veterinarios.

Keywords – frecuencia cardíaca, optimización, prototipo, veterinaria, wearable

I. INTRODUCCIÓN

Los perros han coexistido con los humanos por más de 30,000 años y son considerados compañeros de la sociedad humana [1]. Es natural que el ser humano tenga interés en buscar el bienestar de estos animales, lo que potencia el interés de la monitorización de la salud de los animales, siendo los dispositivos wearables los más populares hoy en día. Estos dispositivos tienen diferentes formas de operación, desde la manera que se utilizan hasta la forma en recolectan y procesan la información obtenida.

El bienestar de la salud de las mascotas, en particular de los perros, se ha convertido en una preocupación creciente en la sociedad actual. Las enfermedades cardíacas, presentes en alrededor del 10% de los perros que asisten a consultas veterinarias, especialmente en aquellos de edad avanzada [2], representan un tema de gran importancia para los dueños. La detección temprana y un adecuado monitoreo de estas afecciones son clave para asegurar un pronóstico favorable.

Aunque los dispositivos enfocados en el cuidado animal son altamente precisos, su uso frecuente puede resultar económicamente inalcanzable, lo que resalta la necesidad de desarrollar alternativas viables para el monitoreo continuo de la salud cardíaca en caninos [3]. Existe una creciente demanda de métodos de monitoreo cardíaco que sean asequibles, accesibles y no invasivos.

Las cardiopatías en veterinaria han ganado relevancia debido a los avances tecnológicos que han prolongado la vida de las mascotas, revelando nuevas enfermedades antes desconocidas [4]. Estas pueden ser congénitas o adquiridas, siendo estas últimas el 90% de las cardiopatías en perros, causando principalmente afecciones valvulares que pueden derivar en insuficiencia cardíaca [5]. La insuficiencia cardíaca congestiva

(ICC) es común en animales pequeños, resultante de la acumulación de presión en las aurículas por enfermedades cardíacas [6]. El 10% de los perros que visitan clínicas veterinarias padecen enfermedades cardíacas, y el 75% de ellos presentan valvulopatía en EE.UU. [7]. Los casos de problemas cardiovasculares en perros han aumentado cada año [8].

Monitorear signos vitales, como la frecuencia cardíaca y respiratoria, es crucial para detectar enfermedades en mascotas [9]. Los métodos de monitoreo para perros con ICC incluyen pruebas de sangre, radiografías, electrocardiogramas (ECG) y ecocardiogramas [6]. El ECG es una herramienta común para diagnosticar cardiopatías en veterinaria [10], pero con el avance de la tecnología, han surgido nuevos enfoques no invasivos para su monitoreo [11], destacando la importancia de controlar parámetros como la frecuencia cardíaca y respiratoria en perros con ICC.

La electrocardiografía se utiliza para determinar la frecuencia y el ritmo cardíaco, la integridad de la conducción y el eje eléctrico, además de diagnosticar anomalías cardíacas y no cardíacas [12]. Las señales ECG se miden a través de electrodos que captan el potencial eléctrico entre ellos [3], y estas se visualizan en un monitor o impresora. Existen diferentes métodos para adquirir y evaluar señales ECG tanto dentro como fuera de entornos veterinarios [13].

El electrocardiógrafo es el equipo estándar para diagnosticar y monitorizar la frecuencia cardíaca [14], mientras que el monitor Holter se usa para evaluar ritmos cardíacos prolongados con múltiples electrodos conectados a un monitor protegido por un chaleco [15]. Estos dispositivos son comunes tanto en humanos como en animales. Para monitorizar los signos vitales de un perro, el electrocardiograma permite evaluar la frecuencia y variabilidad cardíaca, aunque también se consideran otros parámetros como la respiración y presión arterial [16].

Las unidades de medición inercial (IMU) son dispositivos que miden la aceleración lineal y la velocidad angular, siendo útiles en la evaluación del movimiento humano en el ámbito sanitario [17]. Su uso en veterinaria ha ganado interés como complemento en diagnósticos de salud animal [18].

Foster ha investigado el uso de IMU para monitorear perros, comenzando con un estudio que complementaba la medición de frecuencia cardíaca con el monitoreo de movimiento a través de una IMU de 6 grados de libertad (LSM 303), que luego mejoró a una IMU de 9 grados de libertad (LSM9DS0) con magnetómetro [19], [20], [21]. Foster también ha utilizado estos dispositivos para monitorear el movimiento de perros en campo abierto con la ayuda de un vehículo microaéreo [22] y para comprender mejor el vínculo humano-canino en estudios que combinan ECG, fotopletiografía y acelerómetros [23]. Además, ha trabajado en estimar la frecuencia cardíaca y respiratoria de perros durante el sueño mediante IMU [24] [9].

Los sensores inerciales tienen aplicaciones fuera del ámbito clínico. Por ejemplo, en un estudio, se colocaron acelerómetros en el cuello de los perros para analizar su comportamiento [25]. Otro estudio utilizó una IMU de 9 grados de libertad para eliminar artefactos en la señal ECG durante tareas de detección de olores [21].

La experimentación en métodos no invasivos para el monitoreo cardíaco en perros es un área con gran potencial, con avances tanto en materiales como en la ergonomía de los dispositivos [18]. Un ejemplo es el uso de tecnología radar para medir los signos vitales de perros en tiempo real sin contacto directo. Este estudio utilizó un sistema en chip de radar UWB, el X4M02, capaz de medir la respiración y frecuencia cardíaca con una precisión superior al 95%, sin verse afectado por el pelaje del animal [9].

Complementando este avance, un estudio propuso un método de estimación de frecuencia cardíaca que usa filtros adaptativos de muesca para eliminar armónicos de respiración y artefactos de movimiento en la señal de radar Doppler [26]. Estos filtros permiten una estimación precisa, sin interferencias por ruido o movimientos, mostrando una mayor exactitud que los métodos convencionales [26]. Con más estudios, se espera que la tecnología radar sea cada vez más usada en el monitoreo de signos vitales de mascotas.

El presente estudio se enfoca en la optimización de un prototipo de dispositivo wearable ya existente, destinado a la monitorización de la frecuencia cardíaca en perros [27]. Continuando con el desarrollo, esta innovación busca ofrecer una solución eficaz y no invasiva para el seguimiento de la salud cardíaca canina, con un enfoque particular en aquellos animales que sufren de insuficiencia cardíaca congestiva (ICC).

Los resultados de esta investigación contribuyen al desarrollo de una tecnología costo-accesible que permita el monitoreo continuo de la salud de los animales, brindando una herramienta valiosa para la detección temprana y el manejo de enfermedades cardíacas en perros. El desarrollo de un dispositivo wearable que sea preciso, fiable y cómodo tiene el potencial de mejorar significativamente la calidad de vida de los caninos y de facilitar el trabajo de los profesionales veterinarios en el diagnóstico y tratamiento de estas condiciones.

II. METODOLOGÍA

El estudio se realizó con enfoque mixto que combina datos cuantitativos, como mediciones de frecuencia cardíaca y comparaciones numéricas, con datos cualitativos, como el comportamiento de las mascotas y percepciones del personal. Al ser un estudio de seguimiento para mejorar la efectividad de un prototipo existente, tiene un alcance exploratorio y descriptivo, buscando mejorar el diseño anterior a través de modificaciones técnicas basadas en la información recopilada. El estudio es cuasiexperimental, ya que depende de pruebas clínicas con perros de un centro veterinario local, utilizando una muestra no probabilística debido a la disponibilidad de los pacientes.

Se definieron fases, desde el análisis de requisitos hasta la implementación y pruebas de integración, fundamentadas en un modelo en V, el cual se muestra en la Fig. 1.

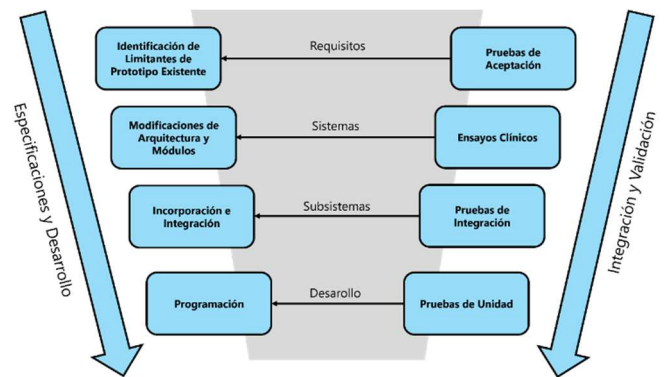


Fig. 1. Modelo en V utilizado en el estudio.

A. Especificaciones y desarrollo

1. Requisitos

Basándose en el prototipo existente, los requisitos para su renovación están relacionados con las limitaciones previamente identificadas, y su validación se realiza a través de pruebas de aceptación para verificar cómo se abordaron esas limitaciones. Se definió contar con un rediseño total del prototipo para una mayor libertad de la colocación de los electrodos, optar por un tipo de electrodo de diferente para superar la impedancia provocada por el pelaje del animal e incorporar un tipo de cinturón distinto para que pueda ajustarse a todos los tamaños de perros. Se espera que el prototipo optimizado pueda abordar y resolver estas limitaciones.

Mediante las pruebas realizadas con el prototipo final optimizado, se buscó determinar la aceptación del concepto e implementación por parte de los veterinarios. El objetivo fue validar, desde su perspectiva, el diseño, la funcionalidad y el rendimiento del prototipo para su uso en contextos veterinarios.

2. Sistemas

Se utilizan como base los componentes electrónicos ya presentes en el prototipo existente, incluyendo la programación utilizada para el procesamiento y lectura de señales, el módulo de ECG y el procesador de Arduino. No obstante, se le agregaron a los componentes una pantalla LCD y un módulo de Bluetooth. De igual forma, se desarrollan otros electrodos, siempre de PLA conductivo, pero de grafeno esta vez, material que tanto la literatura como las recomendaciones de la fase anterior del proyecto sugirieron utilizar. También, se hace ajustes a la programación establecida para integrar la pantalla LCD a este y permitir que, por este medio, visualizar el parámetro de frecuencia cardíaca del perro. Asimismo, se considera un cinturón elástico ajustable para que pueda contacto con el perro independiente del tamaño de este.

Las tecnologías y valores añadidos al prototipo se validan mediante ensayos clínicos realizados en perros de un centro veterinario, comparando las mediciones del prototipo con un método de referencia, evaluando así su precisión, confiabilidad y usabilidad en condiciones reales.

3. Subsistemas

Con el prototipo rediseñado, junto con los electrodos impresos en 3D y el cinturón elástico, se incorporan los elementos para tener el producto final en físico completado. El resultado es un dispositivo wearable en forma de cinturón, listo

36

desde una perspectiva preliminar. Se considera como el ensamblaje de todos los componentes necesarios para el funcionamiento adecuado del prototipo optimizado.

Para verificar el funcionamiento y la comunicación entre los elementos conectados, se realizan pruebas utilizando la programación establecida. Estas pruebas buscan corroborar una medición preliminar que valide la integración exitosa de los electrodos, la programación y el diseño del dispositivo.

4. Desarrollo

Se trabajó nuevamente en el programa ARDUINO IDE con el propósito de mantener el canal de conexión inalámbrico para transferir los datos registrados por el dispositivo a una aplicación que permita su visualización numérica y gráfica. A este se le suma la utilización del programa MATLAB para poder realizar el procesamiento de la señal obtenida por el prototipo. Asimismo, se agregaron líneas de código para poder enviar los datos de frecuencia cardíaca a la pantalla LCD y la señal ECG por medio del módulo de Bluetooth.

Para verificar la funcionalidad de la programación, se realizaron pruebas individualizadas en un sujeto humano con el fin de asegurar que no hubiera errores en el código y se ejecutara correctamente.

Finalmente, la validación del proyecto se centró en tres áreas clave: ensayos clínicos, comparación con métodos tradicionales y evaluación con expertos. En los ensayos clínicos, se probaron tanto el prototipo existente como el optimizado en perros de diversas razas y tamaños para verificar la precisión en la medición de la frecuencia cardíaca, así como la comodidad y facilidad de uso. Además, se comparó la eficacia del prototipo con métodos convencionales, como el electrocardiograma, evaluando su precisión y margen de error. Finalmente, se obtuvo retroalimentación sobre el diseño, facilidad de uso y aceptación del dispositivo en un entorno clínico por parte de los veterinarios.

III. DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS

Los resultados se categorizaron en 3 puntos: registro de señales, comparación con método tradicional y aplicación de las encuestas.

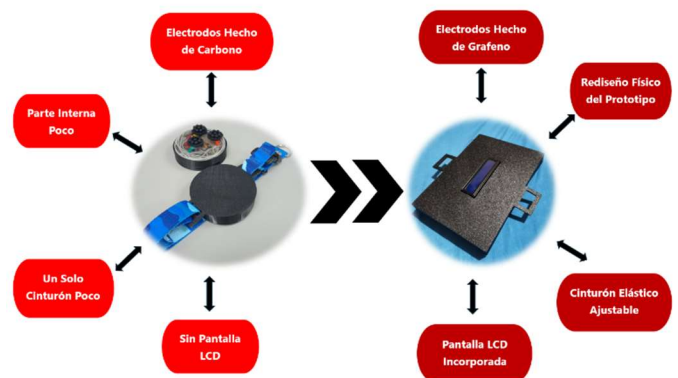
En el prototipo existente (P.E.), se encontraron limitantes en el proceso y puntos de mejoras. Entre ellas destacan: dificultad en registrar señales biopotenciales con a los electrodos de impresión 3D hechos de PLA (ácido poli láctico), la programación era susceptible a fallas debido a las micro variaciones en los valores que registra, los componentes electrónicos se encuentran moldeados con resina, lo que dificulta el reemplazo de algunos de estos, la correa llegaba en ocasiones quedar flojo en perros pequeños y no contaba con una LCD para visualizar la frecuencia cardíaca en tiempo real.

En la fase 1, se incluyó un sensor IMU para correlacionar la frecuencia cardíaca con el movimiento, pero fue descartado en la fase 2 [27]. A parte de eso, no se tomaron en cuenta factores externos que pudiesen afectar las mediciones de ECG, como temperatura y humedad del ambiente. Dichas limitaciones fueron el punto de partida para la renovación del prototipo y su funcionalidad.

El algoritmo Pan-Tompkins se utilizó para contar los latidos por minuto, y se implementaron funciones IoT para enviar datos a una aplicación móvil. Se añadieron extensiones a la carcasa para un cinturón ajustable.

Una de las características distintivas del prototipo optimizado (P.O.) es el rediseño total de este, dando mayor ergonomía para uso veterinarios. En este rediseño se destaca el hecho de que los electrodos están libres para que el veterinario pueda colocarlo en donde desee, ya que, idealmente, un ECG de 3 derivaciones se colocan los electrodos de manera separada (lado superior derecho, lado superior izquierdo y lado inferior izquierdo), posibilitando también que la extracción, visualización y procesamiento sea más fácil que al tener los electrodos juntos en un solo punto. A parte de eso, se diseñó un cinturón elástico ajustable para que pueda permanecer el prototipo en el sujeto sin que personal deba sostenerlo manualmente.

También se incorporó un módulo de Bluetooth HC-05, con el propósito de que prototipo funcione de manera completamente inalámbrica. Si bien la fase anterior se incorporó IoT, este solo se pudo conectar con un teléfono móvil, en el cual, se mandaba la información de frecuencia cardíaca a este dispositivo, mientras tanto, el prototipo debía mantenerse conectado con cable para que este funcionara. El P.O. cuenta también con una pantalla LCD para visualizar de manera directa la FC del animal, por lo tanto, se excluyó el uso del teléfono



móvil para realizar dicha acción.

Fig. 2. Prototipo existente vs. Prototipo optimizado.

En la codificación, se usaron dos aplicaciones para realizar la extracción, visualización y procesamiento de la señal. Arduino IDE se utilizó principalmente para poder leer la señal y visualizar la señal pura, o sea, sin filtro ni procesamiento. MATLAB fue la aplicación a utilizar para realizar la parte de procesamiento de la señal, extrayéndola de Arduino IDE y aplicando filtros para que la señal saliera lo más limpia posible. A parte de esto, debido a que MATLAB si puede implementar el algoritmo Pan-Tompkins directamente, se realizó esto en dicho programa para poder realizar la medición de la frecuencia cardíaca. La Fig. 3 muestra el funcionamiento del prototipo optimizado.

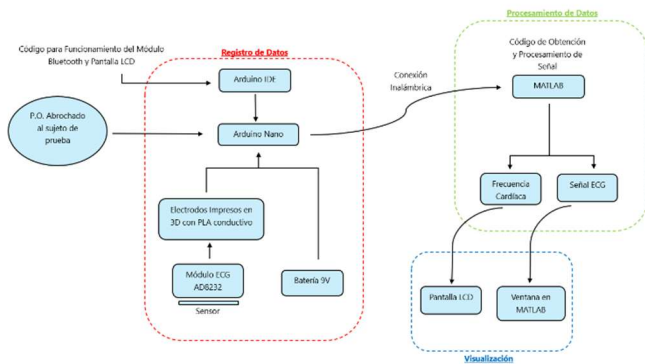


Fig. 3. Diagrama de bloques de prototipo optimizado.

Durante la realización de los ensayos clínicos, se establecieron las condiciones ambientales necesarias para asegurar que fueran cómodas, adecuadas, controladas y clínicamente aceptables para los procedimientos. Esto, con el fin, de determinar si estos factores llegarían a afectar las mediciones o si los electrodos se mirarían perjudicados a la hora de la extracción de los datos. La media de la temperatura del lugar fue de 25.24°C mientras que la humedad tuvo un promedio de 44%.

Para las pruebas con los prototipos, se utilizaron 19 perros para cada uno, cubriendo diversas razas, tamaños y edades. Las observaciones sobre la interacción prototipo-canino incluye información de que tan bien le quedaba el prototipo al perro, el comportamiento y la comodidad percibida de este con el uso del prototipo. Dado que se empleó un método de muestreo no probabilístico, los sujetos de prueba son aquellos perros que el centro veterinario puede proporcionar y que sean adecuados para evaluar la funcionalidad general del prototipo.

TABLE I. CARCATERIZACIÓN DE SUJETOS DE PRUEBA

Nº	Raza	Edad(años)	Peso (kg)	Tamaño	Sexo
1	Terrier	3	7.1	Pequeño	Hembra
2	Shih Tzu	2	4.8	Pequeño	Hembra
3	French Poodle	5	6.4	Mediana	Hembra
4	French Poodle	9	8.2	Mediana	Hembra
5	Chihuahua	10	5.1	Pequeño	Macho
6	Terrier	5 meses	5.6	Mediano	Macho
7	Terrier	5 meses	4.1	Mediano	Hembra
8	Cocker Spaniel	7	10.4	Mediano	Macho
9	Terrier	6	3.7	Pequeño	Hembra
10	Terrier	3	5.9	Mediano	Hembra
11	Terrier	2	4.5	Mediano	Hembra
12	Terrier	4	5	Mediano	Hembra
13	Bulldog Francés	10 meses	10	Mediano	Macho
14	Terrier	4	6.6	Mediano	Hembra
15	Pomerania	4	5.8	Pequeño	Macho
16	French Poodle	13	6.1	Mediano	Hembra
17	French Poodle	10	4.9	Mediano	Macho
18	French Poodle	2	12.3	Mediano	Macho
19	Shnauzer	9	8.3	Pequeño	Hembra

Se definieron criterios específicos para interpretar las observaciones: "nervioso" se utilizó para describir temblores excesivos, "inquieto" para señalar la incapacidad de mantenerse en una sola posición, y "estable" para referirse a la ausencia de signos de estrés o agitación. En cuanto a la comodidad percibida

del prototipo, "cómodo" se definió como la aceptación del prototipo sin intentos de retirarlo, mientras que "incómodo" indicaba un deseo de quitárselo, ya sea tocándolo con frecuencia o mostrando un interés excesivo en él.

Con estos criterios en cuenta, en las pruebas se observa que el 79% (n=15) mostró una actitud tranquila hacia los prototipos, el 16% (n=3) tuvo un comportamiento inquieto durante los ensayos y un 5% (n=1) demostró una actitud nerviosa. De igual forma, el 84% de los sujetos (n=16) demostraron una buena comodidad con los prototipos puestos, mientras tanto el 16% (n=3) tuvieron incomodidad durante las pruebas. La Fig. 4 muestra a uno de los pacientes utilizando el P.O.



Fig. 4. Sujeto de prueba 8 durante pruebas con P.O.

La forma típica de una onda ECG en perros se caracteriza por una onda P pequeña y redondeada, un complejo QRS alto y estrecho, y una onda T que puede ser positiva, negativa o bifásica. Es importante señalar que estas características pueden variar en función de la raza, el tamaño, la edad del perro, así como la presencia de patologías cardíacas. Además, dependiendo del tipo de derivaciones, en este caso utilizando tres derivaciones, se puede anticipar una amplitud que idealmente oscile entre 0.05 y 2.5 mV en los caninos. Los prototipos desarrollados permitieron registrar señales de ECG en perros, las cuales mostraron una forma variable y un rango de amplitud de voltaje de -0.005 mV a 0.030 mV en el P.E. y de -1 mV a 1 mV en el P.O.

La calidad de la señal ECG se ve afectada por varios factores, incluyendo la colocación de los electrodos, el tipo de electrodo empleado, y la interferencia causada por el pelaje y la impedancia de la piel del perro. Los expertos señalan que los perros con pelaje grueso y denso, así como aquellos de mayor tamaño, suelen presentar una mayor impedancia y resistencia al captar la señal, lo cual influye en la apariencia visual de la señal al graficarla. El procesamiento de la señal ECG es diferente dependiendo del prototipo. El P.E. utiliza Arduino IDE y el P.O. utiliza tanto MATLAB como Arduino IDE. Sin embargo, el principio de medición de FC por medio de la detección de picos R es similar en ambos programas.

Los valores obtenidos con el PR son más altos que los del P.E., ofreciendo una representación similar a las gráficas ECG en papel milimetrado tradicional. La forma de la señal

proporciona información gráfica de los datos que se obtiene en tiempo real y su correlación de donde proviene el cálculo de FC.

Las señales obtenidas, en su mayoría, destacaba el complejo QRS, pudiendo marcar de manera visible un ritmo cardíaco, lo que se pudiese considerar una señal electrocardiográfica propiamente dicha. Durante las pruebas con el P.O., se hizo uso del alcohol para poder obtener suficiente conductividad con los electrodos, por lo tanto, obteniendo una señal con el suficiente voltaje y mejor interpretable. La Fig. 5 muestran un ejemplo de las señales captadas durante las pruebas en un mismo sujeto.

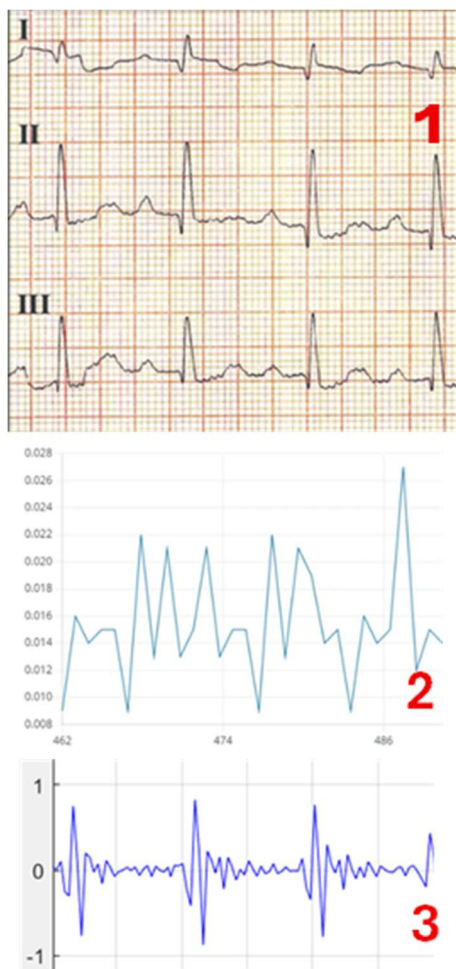


Fig. 5. Comparativa de señal ECG obtenido con método tradiciona (1) vs ECG sujeto de prueba 1 – P.E. (2) y ECG sujeto de prueba 1 – P.O.

Para verificar la precisión de las mediciones de los prototipos, se realizó una comparación con los métodos convencionales utilizados para medir la frecuencia cardíaca en entornos clínicos. La comparación se hizo con un electrocardiograma para determinar los latidos por minuto (LPM) del canino. Cada prototipo, el existente y el optimizado, se evaluó con los 19 sujetos de prueba, realizando tres mediciones de 1 minuto en cada uno y calculando el promedio de estas mediciones. Además, se llevaron a cabo tres mediciones utilizando el método tradicional, y también se calculó el promedio de estas mediciones. Se compararon los promedios obtenidos de ambos prototipos y del método tradicional para determinar el margen de error.

A continuación, la Fig. 6 y Fig 7 muestran los resultados de lo mencionado.

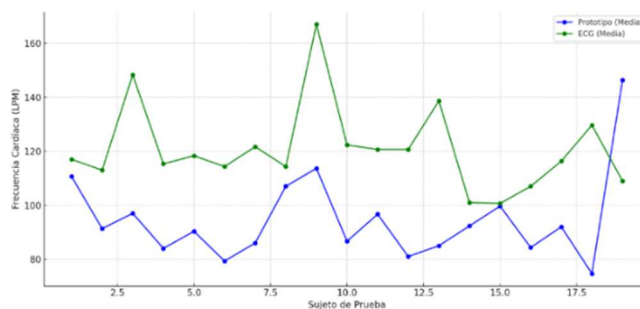


Fig. 6. FC con P.E. y Método Tradicional (en LPM).

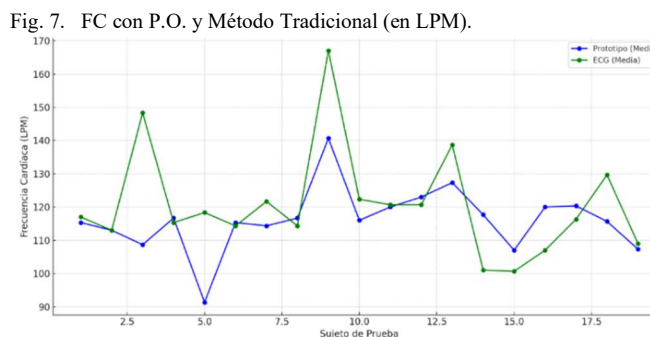


Fig. 7. FC con P.O. y Método Tradicional (en LPM).

Los ensayos clínicos mostraron que el prototipo optimizado es más preciso que el prototipo existente, reduciendo el margen de error de 24% a 7.55%. Esta mejora se debe a la optimización de los componentes, el diseño del prototipo y la programación. El prototipo optimizado mostró menor variabilidad y mayor precisión en las mediciones, superando al prototipo existente.

Después de completar las mediciones con cada prototipo, se realiza una encuesta dirigida al personal veterinario que participó en la recopilación de datos. Esta encuesta abarca varios aspectos, como la percepción general de la experiencia, la precisión y confiabilidad del dispositivo, su facilidad de uso y comodidad, su utilidad en un entorno clínico, y cualquier sugerencia de mejora o comentario adicional. El personal expresó una alta satisfacción con la nueva versión, destacando que era más precisa que la anterior, con pocas discrepancias, lo que generó mayor confianza en los datos obtenidos.

IV. CONCLUSIONES

El diseño optimizado del prototipo facilitó su colocación y mejoró la comodidad para los perros, gracias a un cinturón elástico ajustable que asegura estabilidad en diferentes tamaños. El nuevo cinturón fue bien recibido por el personal veterinario, considerándose adecuado para pruebas clínicas, aunque se recomendó realizar estudios adicionales para validar su aplicación. En la comparación entre electrodos impresos en 3D de PLA con carbono y grafeno, el equipo veterinario reconoció su potencial uso en el ámbito veterinario, pero destacó la necesidad de mayor investigación para su implementación en exámenes clínicos.

Para mejorar la funcionalidad, se sugirió optimizar la pantalla que muestra la frecuencia cardíaca y desarrollar una aplicación móvil que permita visualizar la señal directamente desde un teléfono. El prototipo fue rediseñado para facilitar el

acceso a los componentes y permitir la colocación flexible de los electrodos. Además, la combinación de Arduino IDE para la extracción de señal y MATLAB para el procesamiento avanzado permitió mejorar la precisión y visualización de la señal ECG, implementando filtros para reducir el ruido y un umbral para detectar los picos R. La transmisión vía Bluetooth facilitó el monitoreo remoto.

Este dispositivo no invasivo ofrece una alternativa efectiva para medir la frecuencia cardíaca en perros, evitando procedimientos invasivos. El personal veterinario valoró la mejora en precisión, diseño y comodidad, especialmente para perros con problemas cardíacos y para monitoreo a distancia. Aunque se requieren más estudios sobre la colocación de electrodos y su relación con distintas razas, los avances logrados establecen una base sólida para el desarrollo de un wearable de monitoreo continuo en veterinaria.

ACKNOWLEDGMENT

A la veterinaria Pet's Planet y a su personal por su acompañamiento y apoyo desde la fase I de esta investigación.

REFERENCES

- [1] K. Ohno et al., "Electrocardiogram Measurement and Emotion Estimation of Working Dogs", *IEEE Robot. Autom. Lett.*, vol. 7, núm. 2, pp. 4047–4054, abr. 2022, doi: 10.1109/LRA.2022.3145590.
- [2] C. Atkins et al., "Guidelines for the Diagnosis and Treatment of Canine Chronic Valvular Heart Disease", *J. Vet. Intern. Med.*, vol. 23, núm. 6, pp. 1142–1150, 2009, doi: 10.1111/j.1939-1676.2009.0392.x.
- [3] O. Lahdenoja et al., "Cardiac monitoring of dogs via smartphone mechanocardiography: a feasibility study", *Biomed. Eng. OnLine*, vol. 18, núm. 1, p. 47, dic. 2019, doi: 10.1186/s12938-019-0667-9.
- [4] E. L. Torres et al., "Incidencias de las enfermedades cardíacas en perros", *Anu. Cienc. En UNAH*, vol. 18, núm. 1, 2020, Consultado: el 29 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/ACUNAH/article/view/1355>
- [5] L. Torres, "La Insuficiencia Cardíaca Congestiva (ICC)", *Vanguardia Vet.* Consultado: el 30 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.vanguardiaveterinaria.com.mx/la-insuficiencia-cardiaca-congestiva>
- [6] M. Hezzell, "Monitoring congestive heart failure", *In Pract.*, vol. 42, núm. S1, pp. 14–21, jun. 2020, doi: 10.1136/inp.m1684.
- [7] C. Atkins et al., "Guidelines for the Diagnosis and Treatment of Canine Chronic Valvular Heart Disease", *J. Vet. Intern. Med.*, vol. 23, núm. 6, pp. 1142–1150, 2009, doi: 10.1111/j.1939-1676.2009.0392.x.
- [8] V. Shumakov, L. Kletikova, A. Martynov, y V. Khrushcheva, "Clinical-laboratory Manifestations of Myocarditis in Dogs", *KnE Life Sci.*, nov. 2019, doi: 10.18502/cls.v4i14.5679.
- [9] P. Wang et al., "Non-Contact Vital Signs Monitoring of Dog and Cat Using a UWB Radar", *Animals*, vol. 10, núm. 2, p. 205, ene. 2020, doi: 10.3390/ani10020205.
- [10] A. Krvavica, S. Likar, M. Broznik, A. Domanjko-Petric, y V. Avbelj, "Comparison of wireless electrocardiographic monitoring and standard ECG in dogs", en 2016 39th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), Opatija, Croatia: IEEE, may 2016, pp. 396–399. doi: 10.1109/MIPRO.2016.7522175.
- [11] M. J. Fernández del Palacio, A. Á. Bayón del Río, L. Bernal, A. M. Montes Cepeda, y J. J. Cerón, "Cardiopatías congénitas en el perro: conducto arterioso persistente, estenosis pulmonar y estenosis aórtica", *Clínica Vet. Pequeños Anim.*, vol. 16, núm. 1, pp. 0007–0019, 1996.
- [12] J. Mukherjee, S. S. Mohapatra, S. Jana, P. K. Das, P. R. Ghosh, y K. D. A. D. Banerjee, "A study on the electrocardiography in dogs: Reference values and their comparison among breeds, sex, and age groups", *Vet. World*, vol. 13, núm. 10, pp. 2216–2220, oct. 2020, doi: 10.14202/vetworld.2020.2216-2220.
- [13] H. Prior, N. McMahon, J. Schofield, y J.-P. Valentin, "Non-invasive telemetric electrocardiogram assessment in conscious beagle dogs", *J. Pharmacol. Toxicol. Methods*, vol. 60, núm. 2, pp. 167–173, sep. 2009, doi: 10.1016/j.vascn.2009.06.001.
- [14] Kalstein, "¿Qué es un electrocardiograma?", Kalstein. Consultado: el 21 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://kalstein.net/es/que-es-un-electrocardiograma/>
- [15] N. Schreiber, R. Willis, T. Glaus, y M. Baron Toaldo, "Comparison of the diagnostic value of a small, single channel, electrocardiogram monitoring patch with a standard 3-lead Holter system over 24 hours in dogs", *J. Vet. Cardiol.*, vol. 47, pp. 47–54, jun. 2023, doi: 10.1016/j.jvc.2023.04.004.
- [16] P. Khatate, A. Savkar, y C. Y. Patil, "Wearable Smart Health Monitoring System for Animals", en 2018 2nd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI), Tirunelveli: IEEE, may 2018, pp. 162–164. doi: 10.1109/ICOEI.2018.8553844.
- [17] J. Castellanos-Ruiz et al., "Uso de sensores inerciales en fisioterapia: Una aproximación a procesos de evaluación del movimiento humano", *Univ. Salud*, vol. 23, núm. 1, pp. 55–63, ene. 2021, doi: 10.22267/rus.212301.214.
- [18] J. Wang, M. Foster, A. Bozkurt, y D. L. Roberts, "Motion-Resilient ECG Signal Reconstruction from a Wearable IMU through Attention Mechanism and Contrastive Learning", en Proceedings of the Ninth International Conference on Animal-Computer Interaction, en ACI '22. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, mar. 2023, pp. 1–11. doi: 10.1145/3565995.3566037.
- [19] M. Foster, S. Mealin, M. Gruen, D. L. Roberts, y A. Bozkurt, "Preliminary Evaluation of a Wearable Sensor System for Assessment of Heart Rate, Heart Rate Variability, and Activity Level in Working Dogs", en 2019 IEEE SENSORS, Montreal, QC, Canada: IEEE, oct. 2019, pp. 1–4. doi: 10.1109/SENSORS43011.2019.8956771.
- [20] M. Foster, J. Wang, E. Williams, D. L. Roberts, y A. Bozkurt, "Inertial Measurement Based Heart and Respiration Rate Estimation of Dogs During Sleep for Welfare Monitoring", en Proceedings of the Seventh International Conference on Animal-Computer Interaction, Milton Keynes United Kingdom: ACM, nov. 2020, pp. 1–6. doi: 10.1145/3446002.3446125.
- [21] R. Brugarolas, S. Yuschak, D. Adin, D. L. Roberts, B. L. Sherman, y A. Bozkurt, "Simultaneous Monitoring of Canine Heart Rate and Respiratory Patterns During Scent Detection Tasks", *IEEE Sens. J.*, vol. 19, núm. 4, pp. 1454–1462, feb. 2019, doi: 10.1109/JSEN.2018.2883066.
- [22] M. Foster, T. Wu, D. L. Roberts, y A. Bozkurt, "Preliminary Evaluation of a System with On-Body and Aerial Sensors for Monitoring Working Dogs", *Sensors*, vol. 22, núm. 19, p. 7631, oct. 2022, doi: 10.3390/s22197631.
- [23] M. Foster et al., "3D-Printed Electrocardiogram Electrodes for Heart Rate Detection in Canines", en 2018 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS), Cleveland, OH: IEEE, oct. 2018, pp. 1–4. doi: 10.1109/BIOCAS.2018.8584677.
- [24] M. Foster et al., "Preliminary Evaluation of a Wearable Sensor System for Heart Rate Assessment in Guide Dog Puppies", *IEEE Sens. J.*, vol. 20, núm. 16, pp. 9449–9459, ago. 2020, doi: 10.1109/JSEN.2020.2986159.
- [25] P. Kumpulainen et al., "Dog activity classification with movement sensor placed on the collar", en Proceedings of the Fifth International Conference on Animal-Computer Interaction, Atlanta Georgia USA: ACM, dic. 2018, pp. 1–6. doi: 10.1145/3295598.3295602.
- [26] M. Tazen, N. Sasaoka, y Y. Okamoto, "Non-Contact Heart Rate Measurement Based on Adaptive Notch Filter and Elimination of Respiration Harmonics", *IEEE Access*, vol. 11, pp. 46107–46119, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3272895.
- [27] J. Sarmiento and R. Valle, "Optimización de Prototipo Wearable Para Monitoreo de Frecuencia Cardíaca en Perros," 2024 IEEE Central America and Panama Student Conference (CONESCAPAN), Panama, Panama, 2024, pp. 1–6, doi: 10.1109/CONESCAPAN62181.2024.10891112.