

SISTEMA *WEARABLE* PARA EL MONITOREO DE LA ACTIVIDAD CARDIORRESPIRATORIA EN CANINOS

Propuesta de Tesis de Maestría

Posgrado en Ingeniería Electrónica

Dr. Bersaín Alexander Reyes (FC-UASLP), Dr. José Sergio Camacho Juárez (FC-UASLP)

Motivación

Es innegable el estrecho vínculo entre humanos y caninos a lo largo de la historia, remontándose a alrededor de 15,000 años atrás y dándose la domesticación de caninos durante el final del paleolítico [1]. En nuestra sociedad actual, es común considerar a los caninos como el mejor amigo del hombre. Los caninos han pasado de ser considerados como auxiliares en las actividades de caza y recolección, así como mascotas, hasta convertirse en parte integral de muchas familias de países occidentales y México no es la excepción. De acuerdo con la Encuesta Nacional de Bienestar Autorreportado (ENBIARE) 2021 realizada por el INEGI, se contabilizaron alrededor de 43.8 millones de caninos viviendo en algún hogar mexicano, donde 7 de cada 10 hogares mexicanos poseen algún tipo de mascota y alrededor del 55% de estos son caninos [2]. Nuestra relación con los caninos no solo nos brinda su compañía y afecto, sino también de múltiples beneficios para la salud física, mental y emocional [3]. Así, es bien sabido que los caninos pueden ayudarnos a reducir el estrés, la ansiedad y la depresión. Además, los caninos son capaces de distinguir expresiones faciales humanas y reaccionar en consecuencia, lo que fortalece el vínculo social entre ambas especies, llegando incluso a realizar tareas policíacas, militares y de rescate, como ejemplo, baste mencionar a la canina Frida, ejemplar altamente entrenada por la Secretaría Marina para la búsqueda de personas atrapadas dentro de edificios colapsados [4]. Por lo anterior, resulta innegable la necesidad de conocer el estado de salud y emocional de los caninos, siendo este un campo de investigación científica relativamente nuevo [5].

Al igual que en los humanos, la medición de parámetros fisiológicos en caninos es fundamental para comprender sus procesos biológicos subyacentes, así como para llevar a cabo un monitoreo eficiente de su salud. Se ha reportado que las enfermedades cardíacas son un asesino silencioso muy común entre los caninos [6] y que cuando un canino padece una enfermedad respiratoria, su patrón respiratorio puede ofrecer pistas valiosas sobre la ubicación anatómica y la naturaleza del trastorno en el tracto respiratorio [7]. Por ello, cada vez es más común encontrar estudios enfocados al monitoreo y análisis de signos vitales en caninos, donde se reportan diversas técnicas tanto manuales como auxiliadas por dispositivos electrónicos para tales fines. Entre los parámetros fisiológicos más estudiados se encuentran la frecuencia cardíaca (HR, *heart rate*), que se refiere al número de ciclos cardíacos por unidad de tiempo, medido en unidades de latidos-por-minuto (BPM, *beats-per-minute*) y la frecuencia respiratoria (RR, *respiratory rate*), que se refiere al número de ciclos respiratorios por unidad de tiempo, medida en respiraciones-por-minuto (bpm, *breaths-per-minute*). En la literatura se ha reportado una diversidad de prototipos de monitores de frecuencia cardíaca y respiratoria que puedan apoyar en el monitoreo de la salud de los caninos fuera de centros clínicos y de investigación especializados donde ya existen diversos métodos para el diagnóstico [8] aunque muchos de estos son difícilmente trasladables para su aplicación en la vida cotidiana de las familias con mascotas caninas. A continuación, se describen algunos de estos esfuerzos de investigación para el monitoreo cardiorrespiratorio en caninos.

En 2014, Brugarolas et al. propusieron un sistema vestible que incorporaba sensores de electrocardiografía (ECG) y fotopleletismografía (PPG) para el monitoreo remoto de signos vitales de animales, así como unidades de medición inercial (IMU, *inertial measurement units*) para monitorear su comportamiento [9]. En 2018, Virtanen et al. evaluaron diversos electrodos secos

para el monitoreo de la frecuencia cardíaca en caninos y encontraron que estos resultan adecuados en diferentes posturas como de pie, acostado, sentado y caminando [10]. En 2019, Brugarolas et al. propusieron un sistema para el registro simultáneo de la frecuencia cardíaca y variabilidad de la frecuencia mediante ECG cardíaca, así como patrones respiratorios mediante auscultación empleando un estetoscopio electrónico [11]. En 2020, Foster et al. propusieron un sistema inalámbrico para sensor la frecuencia cardíaca en caninos que entrañan como perros guía, donde emplearon ECG, IMU y una microcomputadora con capacidades de transmisión inalámbrica y enfocaron parte del estudio en detallar el diseño ergonómico del sistema [12]. En 2022, Ohno et al. propusieron un sistema vestible para la medición de ECG de caninos que emplea electrodos comerciales desechables adaptados para la tarea de medir HR durante el ejercicio, así como para estimar estados emocionales positivos/negativos en caninos [5].

A pesar de que en la literatura científica se ha propuesto una gran diversidad de dispositivos para el monitoreo de la actividad cardiorrespiratoria en caninos, así como que también existen productos comerciales para monitorear HR en mascotas, e.g., el sistema Dolittle que se promociona como un dispositivo portátil y una plataforma digital para el cuidado de la salud mascotas [13], aún se requieren soluciones para sobrellevar ciertas limitaciones. En particular, los sistemas propuestos en la literatura pertenecen a soluciones propias de los grupos de trabajo correspondientes y aún existe escasez de evidencias científicas acerca del desempeño de los sistemas comerciales. Así, en este trabajo de tesis de maestría, se propone el diseño, implementación y análisis de desempeño de un sistema portátil vestible (*wearable*) para el monitoreo no-invasivo de HR y RR en caninos. Para nuestro grupo de trabajo, contar con tal sistema permitirá, a futuro, liberar el potencial del monitoreo cardiorrespiratorio para diagnosticar tempranamente eventos adversos, así como para el seguimiento de condiciones patológicas de caninos en la vida cotidiana.

Objetivo general

Diseñar, implementar y analizar el desempeño un sistema de instrumentación *wearable* para el monitoreo de la actividad cardiorrespiratoria de caninos.

Objetivos particulares

- Diseño e implementación de prototipo de sistema *wearable* para la adquisición de ECG y respiración.
- Adquisición de datos reales empleando el prototipo desarrollado.
- Diseño e implementación de algoritmos de procesamiento de señales para estimar las frecuencias cardíaca y respiratoria.
- Análisis de desempeño del sistema propuesto.

Metodología

El proyecto contempla la adquisición y análisis de señales de ECG de caninos sanos, así como de señales relacionadas a sus esfuerzos respiratorios con el prototipo a desarrollar durante la tesis de maestría. Inicialmente, se trabajará en la obtención o implementación de electrodos que aseguren un posicionamiento adecuado en los sujetos de estudio y sin rasurar la zona corporal en cuestión. Paralelamente, se trabajará en el diseño e implementación del sistema electrónico *wearable* que permita adquirir un canal de señal de ECG, así como una señal de esfuerzos respiratorios, e.g., mediante acelerometría 3D y un giroscopio. Se contempla que inicialmente los datos sean almacenados en una unidad de memoria interna del dispositivo de monitoreo para posteriormente ser extraídos y analizados en una computadora personal. Sin embargo, de acuerdo con los avances del proyecto, es deseable contar con un prototipo que permita el envío inalámbrico de los datos a un smartphone o computadora personal. La etapa final del proyecto

involucra el diseño e implementación de algoritmos de procesamiento de señales para la estimación de la frecuencia cardiaca instantánea y de la frecuencia respiratoria. Se contempla la realización de pruebas piloto para analizar la factibilidad del sistema propuesto y analizar su desempeño en la adquisición de ECG y esfuerzos respiratorios en caninos, así como para la estimación de los parámetros cardiorrespiratorios mencionados anteriormente. Cabe mencionar que se realizarán esfuerzos para someter y obtener la aprobación del protocolo experimental ante un Comité de Ética en Investigación con Animales.

Requisitos

Para el desarrollo de este proyecto se considera necesario que el alumno posea conocimientos y experiencia en la adquisición y procesamiento de señales biomédicas, instrumentación biomédica, manejo de MATLAB y sistemas embebidos. Se propone que el alumno involucrado en el proyecto curse materias optativas como Procesamiento de Señales en Tiempo Real, Sistemas Electrónicos Embebidos y Reconocimiento de Patrones.

Cronograma de Actividades (Agosto de 2024 – Agosto de 2025)

Actividad	Mes	2024					2025							
		Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Investigación bibliográfica														
Curso optativo I														
Curso optativo II														
Obtención/implementación de electrodos y sensores														
Diseño e implementación del sistema de adquisición														
Pruebas piloto de adquisición de datos en caninos														
Análisis del desempeño del prototipo														
Escritura de artículo para congreso														
Escritura de tesis														

Referencias

- [1] L. Janssens, L. Giemsch, R. Schmitz, M. Street, S. Van Dongen, and P. Crombé, "A new look at an old dog: Bonn-Oberkassel reconsidered," *J. Archaeol. Sci.*, vol. 92, pp. 126–138, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.jas.2018.01.004.
- [2] "Sala de prensa." Accessed: May 21, 2024. [Online]. Available: <https://www.inegi.org.mx/app/saladeprensa/noticia.html?id=7021>
- [3] J. Shubert, "Dogs and human health/mental health: from the pleasure of their company to the benefits of their assistance," *US Army Med. Dep. J.*, pp. 21–30, Apr. 2012.
- [4] P. A. P. A. Press, "Muere Frida, la perra rescatista mexicana," Los Angeles Times en Español. Accessed: May 21, 2024. [Online]. Available: <https://www.latimes.com/espanol/vida-y-estilo/articulo/2022-11-15/muere-frida-la-perra-rescatista-mexicana>
- [5] K. Ohno *et al.*, "Electrocardiogram Measurement and Emotion Estimation of Working Dogs," *IEEE Robot. Autom. Lett.*, vol. 7, no. 2, pp. 4047–4054, Apr. 2022, doi: 10.1109/LRA.2022.3145590.
- [6] J. Mukherjee, S. S. Mohapatra, S. Jana, P. K. Das, P. R. Ghosh, and K. D. and D. Banerjee, "A study on the electrocardiography in dogs: Reference values and their comparison among breeds, sex, and age groups," *Vet. World*, vol. 13, no. 10, p. 2216, Oct. 2020, doi: 10.14202/vetworld.2020.2216-2220.
- [7] N. E. Sigrist, K. N. Adamik, M. G. Doherr, and D. E. Spreng, "Evaluation of respiratory parameters at presentation as clinical indicators of the respiratory localization in dogs and cats with respiratory distress," *J. Vet. Emerg. Crit. Care*, vol. 21, no. 1, pp. 13–23, 2011, doi: 10.1111/j.1476-4431.2010.00589.x.
- [8] J. L. Singh, D. K. Gupta, N. Gupta, and M. Kumar, "Current diagnostic approaches in canine cardiovascular disorders," *Intas Polivet*, vol. 9, no. 2, pp. 326–332, 2008.
- [9] R. Brugarolas *et al.*, "Wearable Heart Rate Sensor Systems for Wireless Canine Health Monitoring," *IEEE Sens. J.*, vol. 16, no. 10, pp. 3454–3464, May 2016, doi: 10.1109/JSEN.2015.2485210.
- [10] J. Virtanen *et al.*, "Evaluation of Dry Electrodes in Canine Heart Rate Monitoring," *Sensors*, vol. 18, no. 6, Art. no. 6, Jun. 2018, doi: 10.3390/s18061757.
- [11] R. Brugarolas, S. Yuschak, D. Adin, D. L. Roberts, B. L. Sherman, and A. Bozkurt, "Simultaneous Monitoring of Canine Heart Rate and Respiratory Patterns During Scent Detection Tasks," *IEEE Sens. J.*, vol. 19, no. 4, pp. 1454–1462, Feb. 2019, doi: 10.1109/JSEN.2018.2883066.
- [12] M. Foster *et al.*, "Preliminary evaluation of a wearable sensor system for heart rate assessment in guide dog puppies," *IEEE Sens. J.*, vol. 20, no. 16, pp. 9449–9459, 2020.
- [13] zentry, "Dolittle." Accessed: May 22, 2024. [Online]. Available: <http://www.zentry.kr/>