

DISPOSITIVO DE ELECTRONICO NO INVASIVO PARA MEDIR DE FORMA REMOTA SEÑALES FISIOLÓGICAS EN CANINOS

NON-INVASIVE ELECTRONIC DEVICE FOR REMOTE MEASURING PHYSIOLOGICAL SIGNAL IN CANINES

Yerney Wintaco Ávila*, MSc. **William Alexander Cuevas Carrero***
Mauricio Alfonso Witingan Hurtado*

* **Escuela de comunicaciones Militares**, Departamento de Educación Superior
Complementaria, Ingeniería Electrónica y Comunicaciones.
Calle 5 con carrera 15 dos caminos, Facatativá, Cundinamarca, Colombia.
Teléfono: 57-1 2216336 -2220950 -4261499.
E-mail: {yerneywi@ejercito.mil.co, william.cuevas@escom.edu.co ,
mauriciowitigan@hotmail.com}

Resumen: El presente artículo describe el desarrollo de un dispositivo electrónico no invasivo, que realiza la medición de señales fisiológicas en tiempo real en caninos al servicio del Ejército Nacional, especialmente de aquellos que están en entrenamiento para la detección de sustancias controladas (explosivos, narcóticos, divisas, búsqueda y rescate); las variables medidas, son la frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria y temperatura, las cuales permiten determinar la condición física real del animal, previniendo sobre esfuerzos físicos que afecten la respuesta del canino al entrenamiento. Las señales fisiológicas son; visualizadas y analizadas en tiempo real para determinar la frecuencia cardíaca y respiratoria, desplegando los resultados en una interfaz gráfica intuitiva que le permita al adiestrador determinar cambios en las rutinas de entrenamiento y tiempos de descanso.

Este artículo se estructura en tres partes: en la primera se estudian las diferentes técnicas y equipos usados por los médicos veterinarios para estimar variables fisiológicas. La segunda parte se centra en la selección de hardware e implementación del prototipo. En la última parte se comparan los datos obtenidos con el prototipo y los adquiridos por un médico veterinario.

Palabras clave: Adiestramiento canino, DSP, ECG, instrumentación, frecuencia cardíaca y respiratoria.

Abstract: This article describes the development of a non-invasive electronic device, which performs the measurement of physiological signals in real time in canines at the service of the National Army, especially those who are in training for the detection of controlled substances (explosives, narcotics, foreign exchange). , search and rescue); The measured variables are the heart rate, respiratory rate and temperature, which allow determining the real physical condition of the animal, preventing physical efforts that affect the canine's response to training. The physiological signals are; Visualized and

analyzed in real time to determine heart and respiratory rates, displaying the results in an intuitive graphical interface that allows the trainer to determine changes in training routines and rest times.

This article is structured in three parts: in the first part, the different techniques and equipment used by veterinary doctors to estimate physiological variables are studied. The second part focuses on hardware selection and prototype implementation. In the last part, the data obtained with the prototype and those acquired by a veterinary doctor are compared.

Keywords: Electronic instrumentation, signal processing, physiological variables of canines.

1. INTRODUCCIÓN

La influencia positiva de las mascotas en la salud y bienestar de los seres humanos, es bien reconocida y se ve reflejada en la sociedad, desde el punto de vista psicológico, fisiológico, económico y social. Los caninos son un claro ejemplo; estos, a través de la historia se han desempeñado en: cacería, pastoreo, espectáculo, compañía, búsqueda y rescate (Gomez & Atehortua, 2007). El estudio y cuidado de salud de los caninos, se ha convertido en un área muy importante para la ciencia, por el papel que desempeñan en muchas personas, organizaciones y empresas dedicadas a su entrenamiento (Gomez & Atehortua, 2007).

En procesos de entrenamiento o de hospitalización, el monitoreo de variables fisiológicas permiten determinar la respuesta de los caninos a los tratamientos o entrenamientos, y detectar enfermedades que solo son notables cuando el canino se somete a un esfuerzo físico y se comparan con los medidos cuando este se encuentra en reposo (Brugarolas et al., 2019; Ramón Meder, 2010).

La auscultación, es un procedimiento clínico de exploración por el cual se escucha de manera directa, o usando un estetoscopio, el área torácica para valorar los sonidos normales o patológicos producidos por los órganos (Santamarina et al., 1998; Ynaraja, 2010). Es una técnica imprecisa, a causa de numerosos factores, como características del tórax, piel, pelaje e incluso el comportamiento del canino (Ynaraja, 2010).

Para aplicar la técnica de auscultación, se requiere personal veterinario entrenado y la inmovilización del canino, lo cual no es posible realizar durante la ejecución de actividades físicas de entrenamiento, impidiendo que el entrenador considere el

desempeño físico del mismo (Brugarolas et al., 2019; Schonle et al., 2018). Los equipos biomédicos veterinarios, son otra herramienta utilizada para monitorear variables biológicas de los caninos. Aunque estos equipos ofrecen mayor precisión, son pesados, poco portátiles, costosos y en algunos casos invasivos, lo cual limita su uso en actividades de entrenamiento.

Por las limitaciones de los equipos biomédicos veterinarios en diferentes proyectos de investigación, se han desarrollado sistemas para monitorear, visualizar y analizar algunas variables fisiológicas de los caninos, sin utilizar procesos invasivos, que afecten su movilidad (Brložnik et al., 2019; Brugarolas et al., 2014; Oostendorp et al., 1997).

En los trabajos de (Brložnik et al., 2019; Brugarolas et al., 2014; Hamada et al., 2017; Oostendorp et al., 1997), se diseñan diversos sistemas de monitoreo no invasivo, en los que integran sensores y sistemas de visualización para registrar las señales eléctricas y acústicas del corazón y del proceso de respiración.

Los sensores usados están dispuestos en un traje especialmente diseñado, que no impide la movilidad del canino y permite que las señales eléctricas generadas por los sensores, sean proporcionales a los procesos biológicos de los órganos internos (Brložnik et al., 2019; Brugarolas et al., 2014, 2019). Las señales eléctricas entregadas por los sensores, son digitalizadas por conversores analógicos a digital, para posteriormente ser enviados a un procesador digital para su filtrado, radio transmisión y visualización (Brložnik et al., 2019; Brugarolas et al., 2014, 2019; Hamada et al., 2017). La visualización de las señales, es realizada en dispositivos móviles que cuentan con módulos de comunicación inalámbricas, a través de los cuales se transmiten

los datos de las muestras de señales digitalizadas y filtradas (Brložnik et al., 2019; Brugarolas et al., 2019).

El registro visual de las señales eléctricas del corazón, se conoce como electrocardiograma (Ramón Meder, 2010; Santamarina et al., 1998) y ofrece información de la frecuencia cardíaca, ritmo cardíaco, desviación del eje, agrandamiento de cámaras cardíacas (Ramón Meder, 2010; Santamarina et al., 1998). La frecuencia cardíaca, se estima midiendo los intervalos de tiempo entre los latidos (Brložnik et al., 2019; Brugarolas et al., 2019), y se utiliza análisis en frecuencia, para determinarla.

Las herramientas diseñadas en los trabajos de (Brložnik et al., 2019; Brugarolas et al., 2014, 2019; Hamada et al., 2017), ofrecen soluciones económicas y funcionales para ser utilizadas en procesos de entrenamiento de caninos, pero su uso se ve limitado porque estos no son productos comerciales y solo están disponibles para los investigadores que los diseñaron.

Las capacidades de los caninos en rastreo, búsqueda y rescate, son puestas al servicio de las Fuerzas Militares a través del entrenamiento, en el cual el canino realiza diversos ejercicios bajo supervisión del entrenador, que determina si la respuesta del canino es positiva y puede proceder a realizar otros ejercicios (Grigg & Donaldson, 2017; Horwitz, 2018). En no pocos de estos ejercicios, el canino es sometido a esfuerzos físicos, que para muchos puede ser excesivo o perjudicial para su salud, afectando negativamente el proceso de entrenamiento (Hamada et al., 2017), por lo que es imprescindible monitorear señales biomédicas que aporten información de su condición física.

En este artículo, se describe el proceso de diseño, construcción y pruebas de un sistema de monitoreo de la temperatura corporal, frecuencia respiratoria y cardíaca para los caninos entrenados por en el Ejército Nacional de Colombia. El cual fue construido con el objetivo de brindar a la Fuerza una herramienta tanto económica como portátil, que no afecte la movilidad, y permita a los adiestradores conocer estado físico de los caninos en tiempo real.

2. IMPLMENTACIÓN

2.1 Instrumentación electrónica empleada

Actualmente, el Ejército Nacional utiliza caninos de raza Pastor Belga y Labrador, por ser razas fuertes, ágiles, vigilantes, obedientes, equilibrados, leales con su amo, con gran habilidad en la detección de narcóticos y conocido por su rapidez en competencias de exigencia física (General & Albert, 2007; Organización Mundial de Salud Animal, 2012). Estos caninos poseen un pelaje moderado y un tamaño promedio de entre 62 y 60 cm (General & Albert, 2007; Organización Mundial de Salud Animal, 2012).

Para medir la temperatura corporal de estos animales, se debe considerar que ésta varía debido a su pelaje, lo que generaría múltiples lecturas en un mismo animal, según la zona donde se realice la medida (Bell et al., 2012; Eldredge et al., 2007). La axila, el vientre, las orejas y la vía rectal, son las zonas más idóneas; la medida por vía rectal ofrece mayor exactitud, pero es un proceso invasivo y produce incomodidad en el sujeto, requiriendo su inmovilización (Bell et al., 2012; Eldredge et al., 2007), por lo cual fue descartada como un punto de medida y se optó por usar sensor infrarrojo, que no requiere contacto directo con la piel del canino.

El sensor usado, utiliza un detector de termopila sensible a la radiación infrarroja que emiten los cuerpos, y es proporcional a la temperatura de estos (Melexis, 2019); adicionalmente, cuenta con un amplificador de bajo ruido, un ADC (*conversor de digital a analógico*) y un DSP (*procesador de señales digitales*) que permiten obtener medidas con alta precisión y una resolución de 0.14 °C, para el rango de medida entre los -20 y 120 °C.

La frecuencia respiratoria, se mide realizando el conteo de las exhalaciones e inhalaciones del animal de manera indirecta, utilizando galgas de presión, que se encuentran adheridas a un cinturón que es ajustado alrededor del tórax. Las galgas registran una mayor presión cuando el animal inhala y menor, cuando exhala. Las galgas usadas son transductores piezo resistivas, que varían su resistencia proporcionalmente a la presión aplicada sobre su superficie; de forma que, utilizando un divisor de voltaje, se obtiene un voltaje proporcional a la presión producida durante el proceso respiratorio de canino.

La selección de la instrumentación para medir la frecuencia cardíaca, se realizó considerando las ventajas y desventajas de tres diferentes técnicas: electrocardiograma, oximetría y auscultación: la primera requiere en ocasiones, de medios invasivos e inmovilidad total del animal o la colocación de

los sensores en contacto directo con la piel, requiriendo rasurar zonas del tórax (Santamarina et al., 1998); la segunda, no garantiza una correcta medición, cuando el canino tiene una afectación en el corazón o por el tiempo de recorrido de la sangre hasta el punto de medición (Horwitz, 2018). La estimación de la frecuencia cardiaca se realizó con la técnica de auscultación; usando un estetoscopio electrónico construido con un micrófono Elertec, ubicado sobre el costado superior izquierdo del canino, para escuchar los latidos del corazón. Esta solución no requiere inmovilización del canino o de procesos invasivos, la medición no se altera por afecciones del corazón y el pelaje del canino (Bell et al., 2012; Eldredge et al., 2007).

Determinados los sensores y considerando que el sistema a diseñar no debe afectar la movilidad del canino durante su entrenamiento, se optó por usar la tarjeta de adquisición de datos en tiempo real inalámbrica MyRio de National Instruments; ésta cuenta con entradas analógicas y pines digitales bidireccionales, con sus respectivos circuitos de filtrado y protección. Se puede alimentar de una batería externa y la comunicación inalámbrica, se realiza utilizando WiFi (Instrument, 2018).



Fig 1: Sensores y circuito de acondicionamiento de señales para su posterior transmisión con la tarjeta MyRio.

La comunicación por WiFi con la tarjeta MyRio, facilita su conexión a una red de área local y acceso a sus pines de entrada y salida, desde un computador que cuente con LabView. En software, se programó la interfaz gráfica de visualización de las diferentes señales y los algoritmos de análisis. Adicional a la tarjeta MyRio, se usó el microcontrolador ATMEGA 32U4, para establecer comunicación con el sensor de temperatura y generar una señal analógica proporcional. Esta conversión es necesaria, porque la tarjeta MyRio no cuenta con módulo de comunicación I2C. En la Fig 1, se resumen las conexiones realizadas para establecer comunicación entre los sensores y la tarjeta de adquisición de datos MyRio.

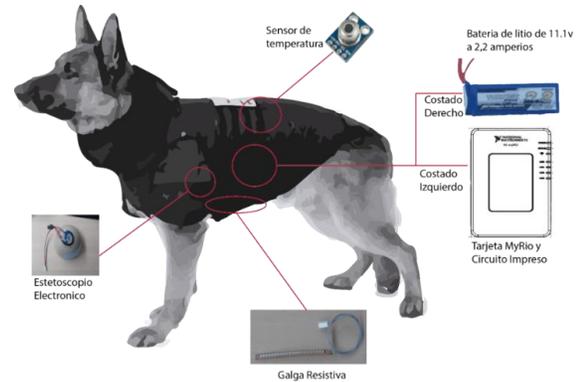


Fig 2: Distribución de sensores sobre el cuerpo del canino.

Para garantizar la movilidad del canino durante el entrenamiento, se diseñó el chaleco de la Fig 2, que sirve como soporte para los sensores, la batería, la tarjeta MyRio y los demás circuitos. La integración de sensores y demás sistemas electrónicos, permitió conocer información del desempeño físico del canino en tiempo real, durante el proceso de entrenamiento.

2.2 Interfaz de usuario

Las muestras de las señales de los sensores discretizadas, representan los valores de las señales fisiológicas, en el instante del tiempo en que se toman. Esta representación de las señales es adecuada para su procesamiento, al emplear algoritmos recursivos, implementados a partir de lenguajes de programación (Popov, 2005).

LabView es un software que trabaja con una metodología que consiste en arrastrar y colocar, enfocada en el desarrollo rápido de interfaz gráfica, implementación de algoritmos y conexión a hardware. Usando las características de este software, se desarrolló la interfaz gráfica que se observa en la Fig 3; de esta forma, se utiliza widget para visualizar los datos en tiempo real y controlar la operación de los algoritmos de análisis de señales.

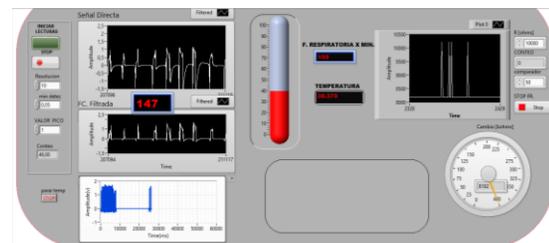


Fig 3: Interfaz gráfica desarrollada para la visualización de las señales discretas de los sensores.

La señal del micrófono usado como estetoscopio, presenta ruido de alta frecuencia, atribuible a la pequeña señal de salida entregada y ruido generado por el movimiento del canino. Un filtro analógico pasa bajas y un circuito amplificador, conforman la etapa de acondicionamiento de la señal, en la cual se elimina el ruido de alta frecuencia y se aumenta la impedancia de salida del sensor. Dicha señal es digitalizada por la tarjeta MyRio y post procesada en LabView, con un filtro pasa banda con las frecuencias de corte entre 0.3 y 5.8 Hz. La primera frecuencia de corte es acorde con la frecuencia cardíaca mínima de 20 *lpm* (*laditos por minuto*), generada en caninos con una falla en el nódulo sinusal y la unión ventricular del corazón. La frecuencia de corte superior correspondiente a la frecuencia cardíaca máxima de 350 *lpm* producida en caninos con una despolarización rápida, regular y de perpetuación continua a través del tejido atrial (Santamarina et al., 1998).

Para estimar la frecuencia cardíaca, se cuentan los sobre picos de la señal en periodos de 15 segundos, se multiplica por cuatro, el valor de la cuenta para obtener los latidos por minutos. Esta estimación en periodos de 15 segundos, es plausible por tratarse de una señal periódica, que entrega cuatro estimaciones de la frecuencia cardíaca por minuto. En la Fig 4, se observa el flujo de datos del algoritmo descrito.

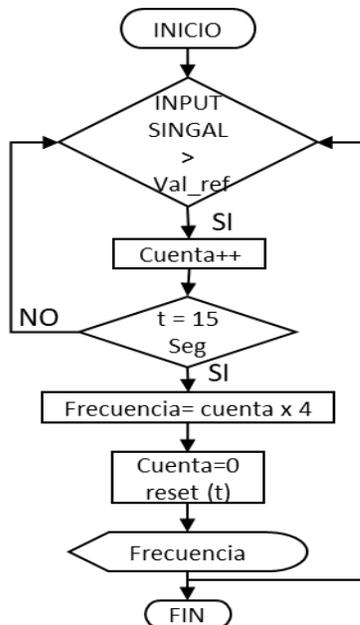


Fig 4: Diagrama de flujo del algoritmo de estimación de la frecuencia cardíaca y respiratoria.

La señal de las galgas piezo resistiva no requiere ser filtrada por la ausencia de ruido de fuentes externas. La estimación de la frecuencia respiratoria, se hace usando el mismo algoritmo que para la frecuencia cardíaca.

La temperatura corporal del canino, se obtiene de la medida directa de la señal analógica generada por el microcontrolador ATMEGA. De esta forma, solo se implementa un proceso de conversión de unidades, para convertir el valor del voltaje leído en las respectivas unidades de grados centígrados.

3. RESULTADOS.

La verificación de funcionamiento del prototipo desarrollado, se realizó considerando tres etapas durante una sección de entrenamiento: En la primera, el canino está en reposo; la segunda, corresponde a la ejecución de los ejercicios y la última, al culminar los ejercicios de entrenamiento.

El grupo de datos de control, son los adquiridos con equipos veterinarios y bajo la supervisión de un profesional. Usa un termómetro para medir la temperatura corporal del canino por vía rectal y un fonendoscopio para estimar la frecuencia cardíaca y respiratoria. Son procesos invasivos que requieren de inmovilización, que para la segunda etapa de verificación de funcionamiento del prototipo, impiden su adquisición durante la realización de los ejercicios. En las pruebas de campo, participó un canino de la raza Pastor Belga de la Escuela de Carabineros de la Policía Nacional.

El médico veterinario procedió a medir la temperatura corporal, frecuencia cardíaca y respiratoria del canino, antes de la realización de los ejercicios de entrenamiento. A continuación, se equipó al canino con el chaleco y se procedió a realizar un registro de las variables usando el prototipo. La Fig 5, muestra el aspecto final del canino, equipado con el chaleco y la interfaz, realizando el registro de las señales fisiológicas en tiempo real.



Fig 5. Equipado del canino con el chaleco, verificación de comunicación y registro de las variables fisiológicas del canino.

Con el canino equipado, se procedió a efectuar pruebas de campo para la realización de los ejercicios de entrenamiento. El prototipo registró las señales en tiempo real; el veterinario esperó a su culminación para proceder rápidamente a medirlas y reducir el error de medida. Las últimas medidas se realizaron diez minutos después de terminados los ejercicios.

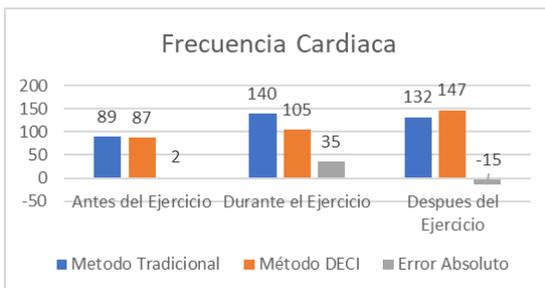


Fig 6. Frecuencia cardíaca en los tres momentos empleando el método tradicional y el DECI.

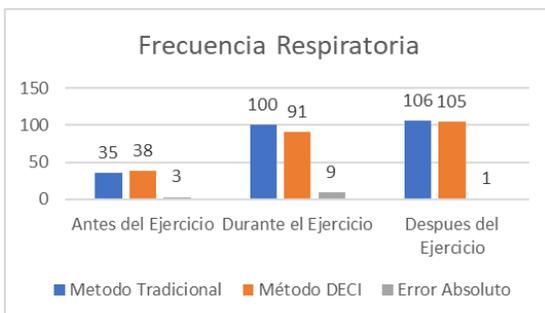


Fig 7. Frecuencia respiratoria en los tres momentos empleando el método tradicional y el DECI.

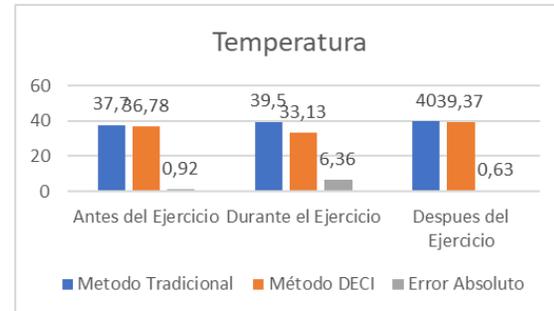


Fig 8. Temperatura en los tres momentos empleando el método tradicional y el DECI.

En las Fig 6, 7 y 8, se tabularon los datos medidos de las tres señales fisiológicas obtenidos durante las etapas de prueba del prototipo. Los datos presentados en relación con el método DECI, corresponden a los valores promedio medidos en cada etapa de la prueba utilizando el chaleco desarrollado. El valor del error promedio en las Fig 6, 7 y 8, indicó que la mayor desviación de los datos adquiridos con el prototipo, respecto a los datos de control, ocurrió durante la segunda etapa, en la cual los datos de control no fueron tomados en el tiempo que el canino realizó los ejercicios.

4. CONCLUSIONES

El sistema desarrollado para medir la temperatura, frecuencia cardíaca y respiratoria, integrando sensores y un sistema de adquisición de datos portátil con comunicación inalámbrica en un chaleco que se ajusta a la anatomía del canino demostró ser una solución factible como instrumento de medida de variables fisiológicas de caninos durante el proceso de entrenamiento.

La temperatura es la señal fisiológica con la menor desviación respecto a las medidas del grupo de control, debido a que la radiación infrarroja emitida por el canino y detectada por el sensor no se altera por agentes externos como sucede con las otras medidas. Para el caso de la frecuencia cardíaca al aumentar el movimiento o velocidad de desplazamiento del canino se incrementa el ruido en la señal y algunas componentes del ruido producen que el algoritmo de conteo no detecte correctamente las pulsaciones del corazón. El error de la frecuencia respiratoria se debe al desajuste del chaleco que se produce cuando canino está en movimiento, por lo cual se requería un ajuste constate del chaleco.

Como medidas correctivas para las falencias del prototipo actual en trabajos futuros se plantea usar varios micrófonos como estetoscopios para mejorar

las medidas del ritmo cardiaco y rediseñar el chaleco usando materiales que se ajusten mejor a la anatomía del canino, reduciendo el error en la frecuencia respiratoria.

El análisis de las señales fisiológicas del canino con el prototipo diseñado permite hacer un seguimiento en tiempo real de la temperatura, frecuencia cardiaca y respiratoria, sin usar métodos invasivos que afecten la movilidad del canino durante el entrenamiento. Este nuevo sistema permitirá realizar diagnósticos de enfermedades que solo presentan síntomas cuando el canino es sometido a estrés físico.

REFERENCIAS

- Bell, J., Cavanagh, K., Tilley, L., & Smith, F. (2012). Veterinary Medical Guide to Dog and Cat Breeds. In *Veterinary Medical Guide to Dog and Cat Breeds*.
<https://doi.org/10.1201/b16185>
- Brložnik, M., Likar, Krvavica, A., Avbelj, V., & Domanjko Petrič, A. (2019). Wireless body sensor for electrocardiographic monitoring in dogs and cats. *Journal of Small Animal Practice*, 60(4), 223–230.
<https://doi.org/10.1111/jsap.12963>
- Brugarolas, R., Dieffenderfer, J., Walker, K., Wagner, A., Sherman, B., Roberts, D., & Bozkurt, A. (2014). Wearable wireless biophotonic and biopotential sensors for canine health monitoring. *Proceedings of IEEE Sensors, 2014-Decem*(December), 2203–2206.
<https://doi.org/10.1109/ICSENS.2014.6985477>
- Brugarolas, R., Yuschak, S., Adin, D., Roberts, D. L., Sherman, B. L., & Bozkurt, A. (2019). Simultaneous monitoring of canine heart rate and respiratory patterns during scent detection tasks. *IEEE Sensors Journal*, 19(4), 1454–1462.
<https://doi.org/10.1109/JSEN.2018.2883066>
- Eldredge, D. M., Carlson, L. D., Carlson, D. G., & Giffin, J. M. (2007). *Dog Owner 's Home VETERINARY*.
- General, S., & Albert, P. (2007). *Federation cynologique internationale (aisbl) - Tornjak*. 1–8.
- Gomez, L., & Atehortua, C. (2007). La influencia de las mascotas. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20, 377–386.
- Grigg, E. K., & Donaldson, T. M. (2017). *The Science Behind a Happy Dog* (First). 5M Published Ltd.
- Hamada, R., Ohno, K., Matsubara, S., Hoshi, T., Nagasawa, M., Kikusui, T., Kubo, T., Nakahara, E., Ikeda, K., Yamaguchi, S., Yamakawa, T., & Tadokoro, S. (2017). Real-time emotional state estimation system for Canines based on heart rate variability. *2017 IEEE International Conference on Cyborg and Bionic Systems, CBS 2017, 2018-Janua*, 298–303.
<https://doi.org/10.1109/CBS.2017.8266120>
- Horwitz, D. (2018). *Canine and feline behavior*.
<https://doi.org/10.1192/bjp.112.483.211-a>
- Instrument, N. (2018). *USER GUIDE AND SPECIFICATIONS NI myRIO-1900*.
- Melexis. (2019). MLX90614 family Single and Dual Zone Datasheet. In *Melexis Inspired Engineering*.
<https://www.mendeley.com/catalogue/mlx90614-family-single-dual-zone-infra-red-thermometer-to39/>
- Oostendorp, T., MacLeod, R., & van Oosterom, A. (1997). Non-invasive determination of the activation sequence of the heart: Validation with invasive data. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology - Proceedings, 1(C)*, 335–337.
<https://doi.org/10.1109/iembs.1997.754543>
- Organización Mundial de Salud Animal. (2012). *Federation cynologique internationale (aisbl)*. 1–6.
- Popov, A. N. (2005). Realization of Digital Filters on PIC - Microcontrollers. *2005 11th International Scientific and Practical Conference of Students, Post-Graduates and Young Scientists - Modern Technique and Technologies*, 40–41.
<https://doi.org/10.1109/SPCMTT.2005.4493171>
- Ramón Meder, A. (2010). Utilidad de la electrocardiografía en la clínica veterinaria de animales de compañía. *Ciencia Veterinaria*, 12(1), 39–43.
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=79892161&lang=es&sitete=ehost-live>
- Santamarina, G., Pernas, Álvarez, R. T., & Rey, M. L. S. (1998). Eletrocardiografía. *Consulta de Difusión Veterinaria*, 15(1), 01–52.
- Schonle, P., Wang, Q., Brun, N., Bossler, J., Meier, P., & Huang, Q. (2018). Towards an implantable telemetry system for SpO2 and PWV measurement in small animals. *2017 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference, BioCAS 2017 - Proceedings, 2018-Janua*(2), 1–4.

<https://doi.org/10.1109/BIOCAS.2017.83252>

11

Ynaraja, E. (2010). *Guía de auscultación clínica en perros y gatos*. 1–25.